HANDBUCH

DER

INGENIEURWISSENSCHAFTEN

in fünf Teilen.

Fünfter Teil:

Der Eisenbahnbau.

Ausgenommen Vorarbeiten, Unterbau und Tunnelbau.

Herausgegeben

von

F. Loewe und **Dr. H. Zimmermann.**

Achter Band.

Zweite, vermehrte Auflage.

Leipzig

Verlag von Wilhelm Engelmann.

1906.

DER
EISENBAHNBAU.

Ausgenommen Vorarbeiten, Unterbau und Tunnelbau.

V. Teil des Handbuchs der Ingenieurwissenschaften.

Achter Band:
Lokomotiv-Steilbahnen und Seilbahnen.

Bearbeitet von

Roman Abt und **Siegfried Abt,**

herausgegeben von

F. Loewe
Ord. Professor
an der Technischen Hochschule
in München

und

Dr. H. Zimmermann
Wirklicher Geheimer Oberbaurat
und vortragender Rat im Ministerium der
öffentlichen Arbeiten in Berlin.

Zweite, vermehrte Auflage.

Mit 410 Abbildungen im Text, 2 Tabellen und vollständigem Sachverzeichnis.

Leipzig

Verlag von Wilhelm Engelmann

1906.

Inhalts-Verzeichnis.

Achter Band.

XIV. Kapitel.

Lokomotiv-Steilbahnen.

Bearbeitet von Roman Abt, Ingenieur in Luzern.

(Hierzu 77 Textfiguren.)

XV. Kapitel.

Seilbahnen.

Bearbeitet von Siegfried Abt, Ingenieur in Winterthur (Schweiz).

(Hierzu 333 Textfiguren.)

Einleitung.

Erster Abschnitt.

Seilbahnen älterer Bauart.

Zweiter Abschnitt.

Seilbahnen neuerer Bauart.





Berichtigungen.

Seite 110, Zeile 4 v. u. lies gehärtetem statt gehärteten.
„ 140, Fußnote [28]) „ Génie civil „ Génie civile.
„ 142, Zeile 17 v. o. „ Gleitstücken „ Gleisstücken.
„ 147, „ 8 v. u. „ Die Wagen werden an ein Litzenzugseil befestigt, das auf eine Trommel mit Bremsvorrichtung.. statt Die Wagen werden an ein Litzenzugseil mit Bremsvorrichtung befestigt, . .
„ 151, „ 2 v. o. „ Gewichtspannvorrichtung statt Gewichtsspannvorrichtung.
„ 204, „ 5 v. o. „ Die wagrecht gemessen 267 m (schief 280 m) lange Bahn . . . statt Die 250 m lange Bahn . . .
„ 234, Abb. 254 sind die Buchstaben T und T_1 zu ersetzen durch Z und Z_1.

XIV. Kapitel.

Lokomotiv-Steilbahnen.

Bearbeitet von **Roman Abt** in Luzern.

(Mit 77 Textfiguren.)

Einleitung.

§ 1. Allgemeiner Überblick. — Weit zurück liegt der Ursprung der Bahnen im weiteren Sinne des Wortes. Die alten Kulturvölker, die Ägypter vorab, benutzten künstlich angelegte Bahnen zu ihren gewaltigen Bauten, die Römer insbesondere auch bei Belagerungskriegen. Damals, wie heute, bestand eine solche Bahn aus zwei parallelen Strängen, bald aus mächtigen Steinblöcken mit eingemeißelter Spurrinne, bald aus Steinfließen, ganz ähnlich wie wir sie heute noch in den Straßen italienischer Städte finden. Je nach der Bodenbeschaffenheit und dem Zwecke wurden diese Steingleise bald wagerecht, bald in ganz ansehnlichen Steigungen angelegt, so daß auch schon damals eigentliche Steilbahnen vertreten waren.

Die Engländer schrieben lange Zeit ihrem Landsmanne Beaumont das Verdienst zu, als Erster im Jahre 1649 das Steingleis durch Holzschienen ersetzt zu haben; allein genauere Forschungen ergaben, daß das Holzgleis deutschen Ursprungs ist und von deutschen Grubenarbeitern in England eingeführt wurde.

Die rasche Abnutzung des Holzes, namentlich eine Folge der großen Transportlasten, veranlaßte mit der Zeit die Bekleidung der Tragflächen mit Gußstreifen und Bandeisen. Dieser Belag wurde immer kräftiger, bis endlich gegen Ende des XVIII. Jahrhunderts gegossene Schienen das Gleis bildeten. Ein letzter Schritt, dem XIX. Jahrhundert vorbehalten, war die Verwendung gewalzter Schienen. Demnach gebührt die Ehre der Erfindung des Gleises Völkern, die Jahrtausende vor uns gelebt haben. Anders verhält es sich mit der Lokomotive. Erst Ende des XVII. Jahrhunderts werden von Denis Papin zu diesem Werke menschlichen Geistes die ersten bedeutenderen Beiträge geliefert. Verhältnismäßig wenig gefördert im XVIII., bringt ihm dagegen das XIX. Jahrhundert durch George Stephenson plötzlich praktische Gestaltung, ungeahnte Entwicklung und Blüte.

So lange Menschen und Tiere durch Ziehen oder Schieben die bewegende Kraft der Bahnen lieferten, kam die Reibung zwischen Gleis und Fahrzeug nicht in Betracht; anders aber, als die Zeit gekommen war, wo das Fahrzeug selbst als Motor, durch Umdrehung seiner Räder, die Fortbewegung der Last bewirken sollte. Erklärlich war die Befürchtung, daß hierbei die glatten Oberflächen von Rad und Schiene nicht genügen könnten, daß künstliche Stützpunkte geschaffen werden müßten in Form von Nägeln und Spitzen oder eigentlichen Zähnen an den Treibrädern,

wovon sich die ersteren in eine weichere Unterlage, z. B. aus Holz, eindrücken, letztere in eine entsprechende Zahnstange eingreifen sollten.

So kam es, daß die erste brauchbare Lokomotive eine Zahnradmaschine war, die sich mittels Zahnstange vorwärts bewegte. Allein kaum hatte diese ihren Dienst recht angetreten, da überzeugten praktische Versuche die Fachkreise, daß die Reibung zwischen Rad und Schiene genügt, um sehr ansehnliche Lasten vorwärts zu schaffen. Die damaligen Lokomotivbauer gaben daher das Zahnrad ganz auf und es folgte die Zeit des Reibungsbetriebes. Freilich stellte sich allmählich auch die Erkenntnis ein, daß die als praktisch anzuerkennende Grenze der zulässigen Steigung eine recht niedrige, oder daß die Zugbelastung eine beschränkte sei und so kam gegen Mitte des Jahrhunderts abermals die Zahnstange zu Ehren (Madison-Indianopolis) zur Beförderung größerer Lasten auf Steigungen von dem doppelten Betrage der gewöhnlichen. Dieser Versuch blieb jedoch lange Zeit vereinzelt.

Endlich erfolgte eine neue Anwendung des Zahnrades, am Mount Washington, diesmal zur Überwindung ungewöhnlich starker Steigungen und nur zur Beförderung von Personen. Damit aber war ein glücklicher Wurf getan. Dutzende von Bahnen solcher Art folgten und tausende von Menschen gelangten seitdem mühelos auf die höchsten Berge.

Dieser Erfolg ließ auch einen weiteren erhoffen, nämlich die Anwendung der Zahnstange zur Beförderung großer Lasten auf verhältnismäßig starken Steigungen. Auch die Lösung dieser Aufgabe ist heute auf einer hohen Stufe der Vollkommenheit angelangt. Mit Hilfe des vereinigten Reibungs- und Zahnradsystems werden auf 50 bis 60 v. T. Steigung, d. h. auf der doppelten Größtsteigung der großen Reibungsbahnen, ungefähr dieselben Züge befördert, die eine gewöhnliche Lokomotive bisher auf etwa 25 v. T. fortschaffte.

In der zweiten Hälfte des XIX. Jahrhunderts ist dasselbe Ziel auch auf anderem Wege angestrebt worden, wobei man von der richtigen Ansicht ausging, daß eine künstliche Erhöhung der Reibung zwischen Rad und Schiene auch eine gesteigerte Leistung ermögliche. Ursprünglich wollten manche die Reibung dadurch erhöhen, daß von der Lokomotive aus alle Wagenräder angetrieben und somit das ganze Zuggewicht zum Reibungsgewicht gemacht wurde; andere wollten dasselbe erreichen, indem sie jedem Wagen seinen eigenen Motor zu geben gedachten. Naheliegende Schwierigkeiten widersetzten sich jedoch der Durchführung dieser Ideen. Immerhin ist die Ausführung der künstlichen Vergrößerung der Reibung gelungen und zwar durch Anpressen liegender Räder gegen eine in der Bahnachse gelagerte Doppelkopfschiene. Diese Lösung ist unter der Bezeichnung „System Fell" bekannt und hat verschiedene Anwendungen gefunden.

Außerdem ist mit den Jahren noch eine ganze Reihe mehr oder weniger glücklicher Entwürfe entstanden. Die meisten derselben sind jedoch Pläne geblieben, oder haben ihre Verwirklichung nur im Modell gefunden. Einer jedoch, wissenschaftlich wohl begründet und namentlich von akademischer Seite warm unterstützt, kam zur Ausführung, nämlich das vereinigte Reibungs- und Zahnradsystem Wetli. Als aber eine der entscheidenden Probefahrten mit einem schweren Unglücksfalle endigte, wurde von seiner praktischen Verwendung abgesehen.

Zu ungeteilter Würdigung haben es die Steilbahnen auch heute noch nicht gebracht. Gleichwohl bestehen zur Zeit über 100 Lokomotivsteilbahnen mit einer Bahnlänge von über 1300 km, mit mehr als 350 Lokomotiven.



Erster Abschnitt.

Geschichtliche Entwicklung der Lokomotiv-Steilbahnen.[1])

§ 2. Bahnen mit gezahnter Hilfsschiene.

Im Jahre 1804 setzte Richard Trevithick seine erste Lokomotive auf der Förderbahn von Merthyr nach Tydville in Gang. Da Steigungen, wenn auch keine bedeutenden, vorkamen, so mußten nach der damaligen Ansicht der Maschinenbauer besondere Vorkehrungen getroffen werden. Zwei Mittel sollten hierzu dienen. Einmal wurden die Räder nicht glatt, sondern gerippt ausgeführt, außerdem aber längs der Gußschienen Holzschwellen gelegt und in die Räder kräftige Eisennägel befestigt, welche bei der Abwicklung sich in das Holz eindrückten und dadurch ein Gleiten (Schleudern) der Räder verhinderten. Beide Mittel erwiesen sich jedoch allzu wirksam. Bedeutende Widerstände und rasche Abnutzung waren die Folge. Bemerkenswert ist übrigens, daß gerippte Räder für Straßenlokomotiven und Fahrräder bis in unsere Zeit immer wieder Verwendung gefunden haben. Auch die Stifte und Nägel des Triebrades samt einer Holzschwelle sind 80 Jahre später vom k. k. Regierungsrat Kamber wieder aufgenommen und bei einer, allerdings nicht zur Ausführung gekommenen Steilbahnanlage vorgesehen worden.

John Blenkinsop, der Besitzter der Middletoner Kohlenwerke bei Leeds, kam zur richtigen Erkenntnis, daß die oben erwähnten Umstände gründlich beseitigt werden könnten, wenn die Maschine seines Nachbars mit einem wirklichen Zahnrade versehen würde, das sich an einer entsprechenden Zahnstange abwickeln könnte.

Am 10. April 1811 suchte er für diese seine neue Idee das englische Patent nach und beauftragte den Maschineningenieur Mathäus Murray von Leeds mit dem Baue einer derartigen Maschine. Schon im August des folgenden Jahres kam dieselbe auf der entsprechend eingerichteten Bahn in Betrieb. Es war die erste richtige Zahnradlokomotive. Wie damals üblich, bestand das Gleis aus hölzernen Querschwellen und gußeisernen Schienen (Abb. 1). An die äußere Seite der einen Schiene waren warzenförmige Zähne angegossen, in welche das seitlich angebrachte Zahntriebrad eingriff. Den Antrieb lieferten zwei über dem Dampfkessel stehend angebrachte, doppelt

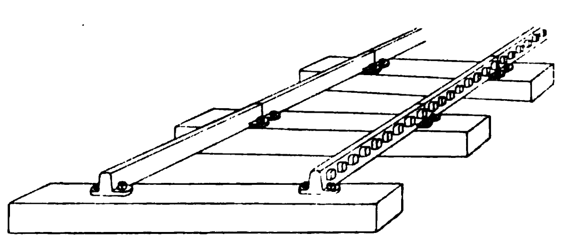


Abb. 1. Zahnstange. Blenkinsop.

[1]) Siehe: A. Lindner, Die Geschichte der Zahnschienenbahnen bis zur Eröffnung der ersten Rigibahn, Annalen für Gewerbe und Bauwesen, 1886.

wirkende Zylinder. Von hier erfolgte die Kraftübertragung durch Schubstangen auf zwei unter 90° zueinander gestellte Kurbeln. Auf den Kurbelachsen waren Zahngetriebe aufgekeilt, welche in ein gemeinsames Übertragungsrad eingriffen; auf der Achse des letzteren endlich war das eigentliche Zahnrad gelagert. Die ganze Lokomotive wog nicht über 5 Tonnen, sie zog auf wagerechter Bahn 30 Kohlenwagen von 94 Tonnen Gewicht mit 5 km Geschwindigkeit in der Stunde. Auf der stärksten Steigung von 66 v. T. konnten bei gleicher Fahrgeschwindigkeit noch 15 Tonnen befördert werden. Die Zugkraft betrug also rund 1500 kg.

Daß dieser außerordentliche Fortschritt im Bau und im Betriebe der Eisenbahnen nicht schon damals weitere Anwendung gefunden, hat seinen Grund in der fast gleichzeitigen Entdeckung W. Blacketts bei Versuchen, die auf der Bahn von Wylam angestellt wurden. Dabei zeigte sich nämlich, daß die Reibung zwischen glatten Schienen und glatten Rädern so bedeutend ist, daß sie allein, ohne Zahnstange und andere künstliche Mittel, genügt, eine bedeutende Zugkraft auszuüben, besonders dann, wenn mehrere Räder der Lokomotive zur Bewegung herangezogen, also das Gewicht des Motors möglichst vollständig ausgenutzt wird. Zu dieser Überzeugung war Blackett, oder richtiger dessen Grubenaufseher W. Hendley im Jahre 1814 gekommen.

Damit war die Weiterentwicklung der Zahnradbahnen zunächst abgeschnitten. Die Ausführungen Murrays hielten sich aber so vorzüglich, daß nach zuverlässigen Aufzeichnungen die Middletoner Zahnradbahn noch im Jahre 1838 im Betriebe stand und nach Vervollkommnungen verschiedener Art Züge bis zu 140 Tonnen auf wagerechter Strecke fortgeschafft wurden.

Dem nächsten Fortschritt in der Entwicklung des Zahnradsystems begegnen wir einige Jahre später in Nordamerika. Enner Rimber von Rimberton ließ sich 1831 von den Vereinigten Staaten ein Patent auf eine Vereinigung von Reibungs- und Zahnvorrichtung erteilen. Sein Gleis sollte dort, wo die Zahnstange zur Anwendung kam, aus drei Strängen bestehen, aus einem mittleren, der die Zahnstange bildete samt einem schmalen Gleis, auf dem die losen Lokomotivräder in solcher Höhe über den gewöhnlichen Schienen liefen, daß die Reibungstriebräder sich inzwischen in der Luft leer drehten und zwar über dem anderen, breiteren Gleis, auf dem die Tragräder der Maschine und die Laufräder der Wagen rollten. Eine Ausführung erlebte Rimber nicht. Dagegen kam R. Abt, damals Konstrukteur der Maschinenfabrik Aarau, im Jahre 1877 unabhängig von dieser Idee auf eine ganz gleiche Lösung und fand Gelegenheit, dieselbe für eine kleine Steinbruchbahn in Laufen (Kanton Bern) auszuführen. Die Anordnung des Oberbaues und der Triebachse ist in beistehender Abb. 2 dargestellt.

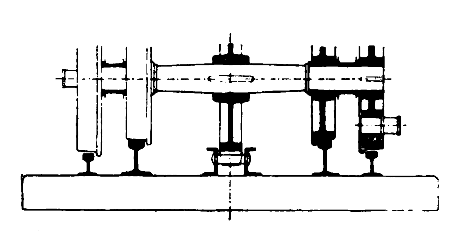


Abb. 2. Oberbau der Steinbruchbahn Laufen.

Seither sollten amerikanische Ingenieure noch zweimal wegweisend auf dem Gebiete der Zahnradbahnen werden.

Im Jahre 1837 wurde die Bahn von Madison nach Indianopolis (Nordamerika) angelegt. Die Bodenverhältnisse erforderten kurz nach Verlassen des Bahnhofes Madison eine 2 km lange Steilrampe von 59 v. T. Steigung. Die ersten Jahre erfolgte der Betrieb durch Pferde, allein bald reichten deren Kräfte nicht mehr aus.

1845 lieferte dann W. Baldwin in Philadelphia eine gewöhnliche Dampflokomotive mit 26 Tonnen Dienstgewicht. Allein ihre Leistungsfähigkeit entsprach nur drei Wagen im Gewichte von 33 Tonnen. Nach vielfachen Entwürfen, an denen sich besonders William Hoyt von Dupont betätigte, wurden im Jahre 1847 nach Plänen von A. Cathcart, ebenfalls von Baldwin, zwei Zahnradlokomotiven gebaut, welche sich durch ihre Anordnung und Leistung auszeichneten. Diese Maschinen wurden, wie Abb. 3 zeigt, von vier Triebachsen getragen, alle gekuppelt und von einem Zylinderpaare angetrieben. Als gewöhnliche Reibungsmaschinen arbeiteten sie damit auf den wenig geneigten Strecken der Bahn, auf der Zahnstange aber wurde der Dampf zur Erzeugung der Reibung abgestellt. Durch einen über dem Kessel, vor der Feuerbüchse angebrachten Dampfzylinder wurde die Zahntriebachse mit dem Zahnrade gesenkt und durch zwei weitere Dampfzylinder, die stehend über dem Langkessel angebracht waren, ein Zahngetriebe in Bewegung gesetzt, das mit dem Zahnrade in Eingriff stand und damit die Fortbewegung des Zuges auf der Zahnstange bewirkte. Diese bestand aus Gußeisen und war in der Bahnachse auf einer hölzernen Langschwelle angebracht (Abb. 4, 5). Die Lokomotive

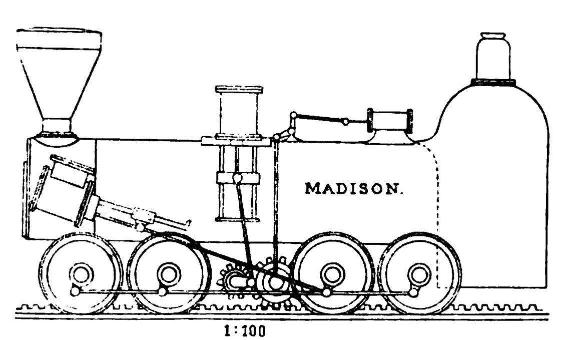
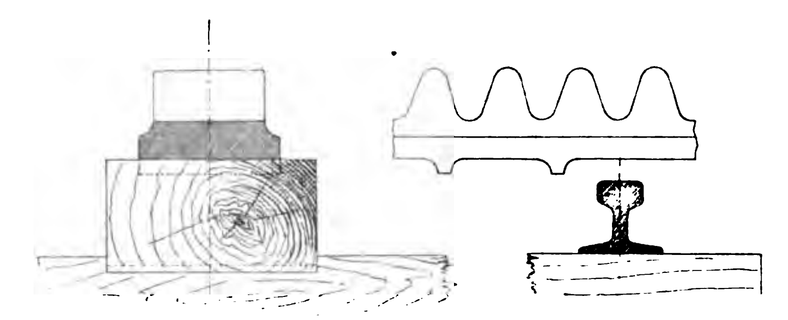


Abb. 3. Lokomotive. Cathcart.


Abb. 4, 5. Zahnstange. Madison-Indianapolis.

samt Tender wog 54 Tonnen. Probeweise wurden damit Züge bis zu 170 Tonnen befördert. Die 2,145 km lange Steilrampe wurde regelmäßig in 25 Minuten, also mit 5 km Geschwindigkeit in der Stunde zurückgelegt.

Bis zum Juli 1868 blieben diese Maschinen im Dienste. Dann wurden sie wiederum durch Reibungsmaschinen von 50 Tonnen Reibungsgewicht und fünf gekuppelten Achsen ersetzt. Dieselben beförderten für gewöhnlich außer dem 16 Tonnen schweren Tender einen Zug von 90 Tonnen mit 10 km Geschwindigkeit.

Im Juni des Jahres 1858 endlich legte Silvester Marsh aus Chicago dem gesetzgebenden Körper des Staates New-Hampshire das wohldurchdachte Modell einer Zahnradlokomotive und einer Zahnstange vor, zur Ersteigung des Mount Washington. Darin war die Zahnstange ebenfalls in der Bahnachse und der Dampf-

kessel stehend angeordnet. Die verlangte Genehmigung wurde auch erteilt, doch erst im Frühjahr 1866 waren die zum Baue nötigen Mittel beisammen.

Örtliche Verhältnisse, namentlich ganz felsiges Gelände, dann auch die knapp bemessenen Geldmittel drängten darauf, die Baukosten so niedrig wie möglich zu halten. Die ganze Bahn wurde darum auf ein fortlaufendes Holzgerüst verlegt und gegen den Felsen gut abgestützt. Über dem eigentlichen Gerüste befanden sich drei Langschwellen aus Holz. Die beiden äußeren dienten zur Aufnahme der Laufschienen aus Bandeisen von 12/50 mm Querschnitt, die mittlere zur Aufnahme der

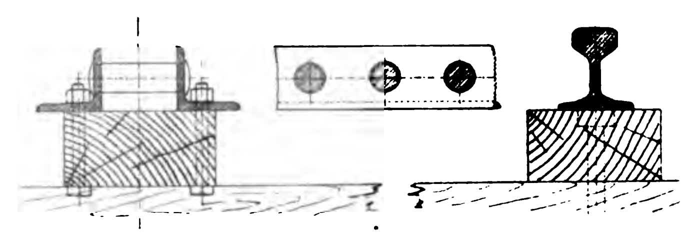


Abb. 6, 7. Zahnstange. Marsh.

Zahnstange. Diese zeigte die Grundform der seitherigen Leiterzahnstangen. Abb. 6, 7. Sie bestand aus zwei Winkeleisen von 76/76/10 mm Querschnitt im Abstande von 118 mm. Dazwischen steckten die Zähne aus 38 mm dicken Rundeisen. Diese letzteren waren beiderseitig an ihren Enden vernietet. Die Teilung betrug 100 mm, die Breite des Zahnstangenfußes 270 mm, die der darunter liegenden Langschwelle 204 mm. Die Winkeleisenschenkel standen somit beiderseits um 33 mm über die Langschwelle vor und dienten zwei kleinen Rollen als Führung, die an einem Gestelle der Maschine gelagert waren und ein allfälliges Aufsteigen des Zahnrades verhüten sollten. Die Länge eines Zahnstangenstückes war 3600 mm.

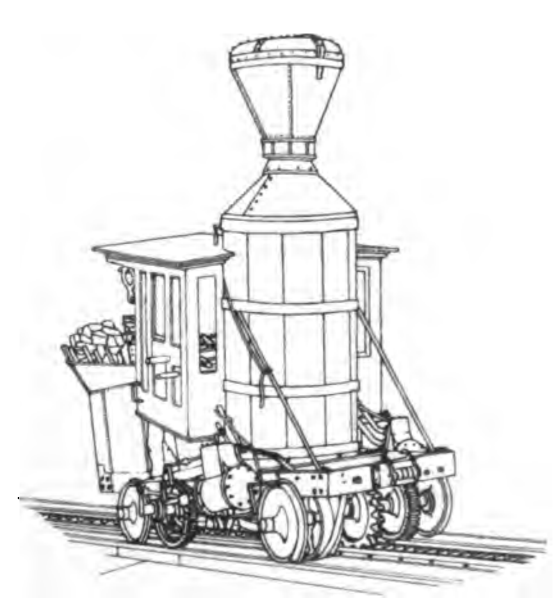


Abb. 8. Lokomotive. Marsh.

Das gleiche Bestreben ausgesuchter Einfachheit leitete den Entwurf der Lokomotive (Abb. 8), von Campbell und Whitier in Boston erbaut, welche noch im gleichen Jahre 1866 ihren Dienst begann. Der lotrechte Kessel war an zwei Drehzapfen aufgehängt. Die Maschine wurde von zwei Achsen getragen, von denen die hintere zugleich Zahntriebachse war. Die Bewegung folgte von einem Paar seitlich und außerhalb des Rahmens angebrachter Dampfzylinder aus. Durch zweimalige Übersetzung, also mit Hilfe von drei Vorgelegen, erfolgte der Antrieb der Zahnradachse. Diese Maschine wog bloß 4 Tonnen und beförderte auf dem 1,5 km langen Bahnstück, welches im ersten Jahre vollendet

wurde und eine größte Steigung von 33 v. H. enthielt, eine Last von 5 Tonnen mit 4,5 km Fahrgeschwindigkeit in der Stunde.

Diese erste Maschine erwies sich bei alledem doch als zu einfach gebaut; schon 1867 wurde darum an eine stärkere Bauart gedacht, deren Gewicht dann 6,5 Tonnen erreichte. Die allgemeine Anordnung mit stehendem Kessel aber wurde beibehalten, dagegen geschah die Kraftübertragung durch eine einzige Vorgelegewelle. Für die Talfahrt wurden die Dampfzylinder als Luftbremsen eingerichtet, wie alle später gebauten Zahnradlokomotiven solche erhielten. Auch die Schienen aus Flachseisen erwiesen sich als zu schwach und wurden durch Breitfußschienen von 15 kg/m ersetzt.

Am 14. August 1868 hatte Marsh 60 der ersten Eisenbahntechniker Amerikas zu sich geladen und sie auf seiner Bahn befördert. Allseitig wurde ihm uneingeschränktes Lob gespendet. Im gleichen Jahre war auch die Bahn bis auf ein kurzes Stück unter dem Gipfel vollendet. Nachdem der kleine Rest im Frühjahr 1879 nachgeholt, wurde die ganze Bahn dem regelmäßigen Betriebe übergeben.

Sie hat eine Länge von 4536 m, eine größte Steigung von 377 v. T., eine Spurweite von 1411 mm ohne jedes seitliche Spiel der Räder im Gleis. Die mittlere Steigung beträgt 241 v. T., der kleinste Bogenhalbmesser 150 m. Die Kosten der ersten Anlage waren Mk. 630000. Die Züge bestehen aus der Lokomotive und einem Personenwagen von 3 Tonnen Eigengewicht mit 50 Sitzplätzen, wobei die sämtlichen Bänke so angeordnet sind, daß alle Reisenden nach dem Tale schauen.

Im Jahre 1871 wurde eine dritte Lokomotive in Betrieb gesetzt, die sich, abgesehen von Verbesserung in den Einzelheiten, von den früheren dadurch unterscheidet, daß jede der beiden Achsen ein Zahntriebrad erhielt und je von einem eigenen Zylinderpaar angetrieben wurde. Im Jahre 1875 endlich wurde auch der stehende Kessel durch einen liegenden mit gewöhnlicher Anordnung ersetzt. Das Dienstgewicht dieser Maschienen beträgt 12 Tonnen. Diese letzteren drei Maschinengattungen verdanken ihren Ursprung Walter Aiken, Maschinenmeister der Mt. Washington-Bahn.

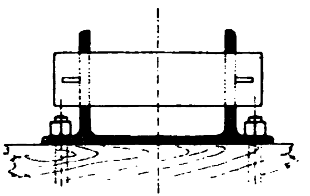
Riggenbach.

Inzwischen war aber auch in der alten Welt der Zahnradbahn ein Förderer von ungewöhnlicher Bedeutung erwachsen. Nikolaus Riggenbach, geboren im Jahre 1817 zu Gebweiler im Elsaß, wurde, nachdem er 1847 als Werkstättenchef von Emil Keßler in Karlsruhe die erste Lokomotive der schweizerischen Nordbahn nach Zürich gebracht, bald darauf zum Maschinenmeister der schweizerischen Zentralbahn und zum Direktor der Hauptwerkstätten in Olten ernannt. Seinem Dienste unterstellt war auch der 2,5 km lange Hauensteintunnel mit 26,23 v. T. Steigung, dessen Reibungsverhältnisse für den Maschinendienst von jeher viel zu wünschen übrig ließen. Riggenbach kam daher auf den Gedanken, daß unter solchen Umständen eine Lokomotive mit Zahnrad und eine Zahnstange, also ein von der gewöhnlichen Reibung ganz unabhängiges Mittel, eine willkommene Lösung sein dürfte.

Pläne und Studien wurden daraufhin in Angriff genommen. Es entstand der Entwurf einer Zahnradlokomotive mit liegendem Kessel, ganz in der Anordnung der damaligen Keßler'schen Maschinen mit einem mittleren Zahnrade und dazu eine Zahnstange mit gewalzten Wangen und dazwischen gesteckten Zähnen mit Trapezquerschnitt, welche seitlich durch Splinte festgehalten wurden. Auf diese Anordnung

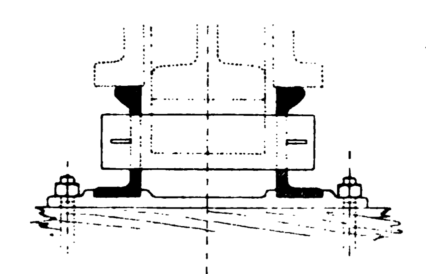
erwirkte Riggenbach durch Vermittlung der Firma André Köchlin & Cie. in Mülhausen ein Patent für Frankreich, welches das Datum vom 12. August 1863 trägt.

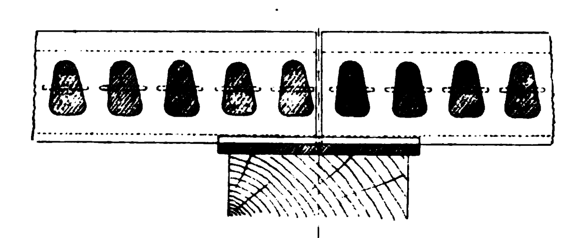
Für die Zahnstange waren zwei Lösungen in Aussicht genommen. Die eine (Abb. 9) war aus einem ⊔ Eisen mit seitlich angewalzten Schenkeln gebildet, die andere (Abb. 10 und 11) aus zwei aufrecht stehenden, besonders geformten ⊔ Eisen, ähnlich einer einseitigen Breitfußschine. Die Verzahnung war in beiden Fällen durch Querstäbe von trapezförmigem Querschnitte erzielt. Festgehalten werden sollten die Zähne durch seitlich durchgesteckte Schließen.


Abb. 9. Zahnstange. Riggenbach.

Ebenso waren auch zwei Arten Lokomotiven vorgesehen, für reinen und für gemischten Betrieb, mit liegenden Kesseln. Bei beiden erfolgte der Antrieb von den in gewöhnlicher Weise außen gelagerten Dampfzylindern aus auf eine vor der Feuerbüchse gelagerte Vorgelegeachse. Diese trug zwei kleine Zahngetriebe, welche in zwei Übersetzungsräder einer weiteren Achse, der eigentlichen Zahntriebachse, eingriffen, auf deren Mitte das Zahntriebrad gekeilt ward. Für gemischten Betrieb war diese letztere Achse durch Stangen mit einer Reibungstriebachse gekuppelt.

In der Befürchtung, ein ungleich tiefer Eingriff möchte auf die Bewegung des Zahnrades störend wirken, waren, wie Abb. 10 zeigt, neben dem Zahnrade zwei leer-




Abb. 10, 11. Zahnstange. Riggenbach.

laufende Tragrollen angeordnet, die sich auf die Wangen von der oben erwähnten Form der Zahnstange stützten. Die ganze Anordnung der Lokomotiven deutete darauf hin, daß sie für Bahnen mit mäßiger Steigung in Aussicht genommen waren. Die Konstruktion der Zahnstange ist nicht zur Ausführung gekommen, wohl aber später jene der Lokomotiven.

Für sehr starke Steigungen schwebte Riggenbach eine andere Lösung vor, nämlich eine gewöhnliche, einfache Zahnstange, ähnlich jener von Cathcart und darin sich abwickelnd ein Schneckenrad, dessen Antrieb entweder durch Dampf, oder unter Umständen auch durch Wasserkraft mittels entsprechender Übertragung durch Seil oder Preßluft erfolgen sollte.

Riggenbachs unermüdliche Bemühungen zur Verwirklichung seiner Ideen sollten endlich eine ebenso unerwartete, wie günstige Unterstützung finden. Im Jahre 1867 war John Hitz, schweizerischer Generalkonsul bei den Vereinigten Staaten Nordamerikas, für einige Zeit in seiner Heimat und richtete an den schweizerischen Bundesrat einen ausführlichen Bericht über die am Mount Washington im Baue

befindliche Zahnradbahn, mit dem allgemeinen Hinweis auf die Nützlichkeit solcher Anlagen in den Schweizerbergen und dem besonderen einer Verbindung zwischen dem Genfersee und der Stadt Lausanne, beziehungsweise Westbahnhof.

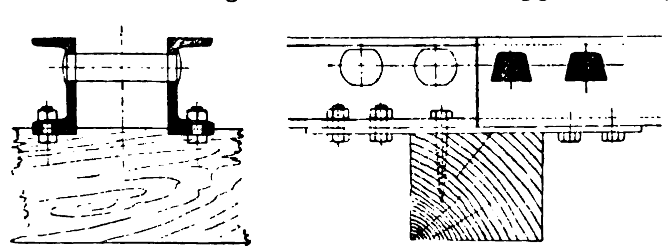
Riggenbach, mit Hitz persönlich bekannt geworden, erhielt von diesem den Rat, auf den Rigi eine Bahn zu bauen, wie Silvester Marsh am Mount Washington. Damit war eine glückliche Wendung eingetreten. Eine Baustelle, die, wie sich bald herausstellte, glücklicher nicht gewählt werden konnte, dazu der in Amerika erbrachte Nachweis, daß eine Zahnradbahn keine solche „Ungeheuerlichkeit" war, wie sie die Professoren am schweizerischen Polytecknikum in ihrem Gutachten an den schweizerischen Bundesrat dargestellt hatten, mußte neuen Mut verleihen und zum Siege helfen.

Auf der Generalversammlung des schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins vom 27. bis 29. September 1868 in Interlaken, auf dem verschiedene Gebirgsbahnprojekte zur Besprechung kamen, hatte Riggenbach im Vereine mit Olivier Zschokke noch einmal versucht, die Techniker für seinen Plan einzunehmen. Wenngleich unentschieden, zeigte sich doch eine größere Neigung für die neu aufgetauchte Bauart Wetlis. In dieser Stimmung wurde von Riggenbach, Zschokke und Oberst Adolf Naeff, des letzteren Geschäftgenossen, noch am 29. September der Entschluß gefaßt, auf den Rigi eine Zahnradradbahn zu bauen.

Zur Aufklärung sowie Feststellung der mechanischen Einzelheiten wurde Ingenieur Otto Grüninger nach dem Mount Washington entsendet und im Juni 1869 von demselben ein ausführlicher Bericht erstattet mit zahlreichen Skizzen der dortigen Ausführungen und höchst wertvollen Verbesserungsvorschlägen und Anregungen.

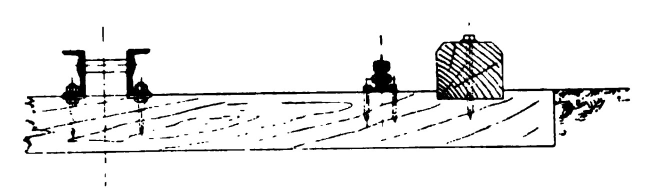
Am 9. Juni 1869 erfolgte die von der Regierung des Kanton Luzern verlangte Genehmigung des Baues einer Bahn Vitznau-Kaltbad-Staffelhöhe. Am 24. Juli gleichen Jahres erhielt sie die bundesrätliche Genehmigung und unmittelbar darauf sagten auch vier Banken ihre Mitwirkung zu. Das Aktienkapital wurde auf 1 250 000 Frs. angesetzt, wovon die Hälfte von den drei Unternehmern übernommen wurde. Im Oktober 1869 begannen die Arbeiten. Die Vollendung der 5 km langen Bahn war für den Hochsommer 1870 in Aussicht genommen, allein die Bauarbeiten verzögerten sich etwas und plötzlich brachte der Ausbruch des deutsch-französischen Krieges im Juli 1870 eine Störung in die Ablieferung der Schienen. Immerhin hatte im Mai 1870 die erste Probefahrt und genau ein Jahr später die Eröffnung des Betriebes stattgefunden.

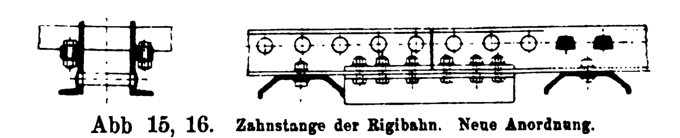
Was am Rigi zur Ausführung gelangte, waren weder die Zahnstange, noch die Lokomotive nach dem seinerzeit in Frankreich genommenen Patente Riggenbachs, sondern in allen wesentlichen Teilen, selbst bis auf einzelne Abmessungen genau, die Formen vom Mount Washington, jedoch mit so bedeutenden Vervollkommnungen, daß die mechanische Ausrüstung dieser Zahnradbahn gegenüber ihrem Vorbilde einen hochwichtigen Fortschritt bedeutet. Wie die Abb. 12 und 13 zeigen, besteht die Zahnstange am Rigi aus zwei ⊐ Eisen als Seiten und dazwischengesteckten

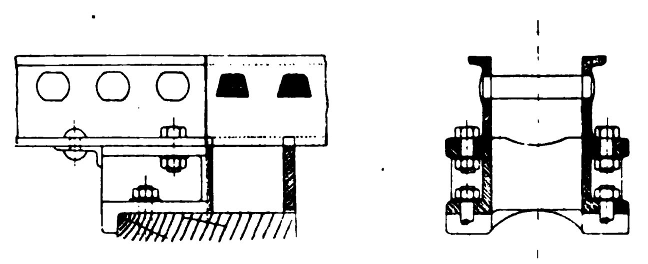

Abb. 12, 13. Zahnstange der Rigibahn. Erste Anordnung.

Zähnen von trapezförmigem Querschnitte. Diese letzteren waren, soweit sie im Stege der ⊏ Eisen steckten, angedreht und an den Enden vernietet. Jedes Zahnstangenstück hat eine Länge von 3 m. Die Teilung beträgt 100 mm. Die Stöße befanden sich stets über einer Schwelle. Als Lasche dienten zwei Flacheisen von der Breite der Schenkel der ⊏ Eisen. Die Befestigung auf den Schwellen erfolgte mittels Holzschrauben.

Die Schienen waren 80 mm hoch und wogen 15 kg/m. Neben denselben führten hölzerne Langschwellen über die ganze Bahn, wie Abb. 14 andeutet. Als die Zeit einer Auswechslung der hölzernen Schwellen rasch heranrückte, entschloß sich die Rigibahn, zum eisernen Oberbau und gleichzeitig zu stärkeren Laufschienen überzugehen. In wenig Jahren war der Umbau durchgeführt und es zeigt heute das Gleis die durch Abb. 15 und 16 dargestellte Form. Die Lagerung der Zahnstange unmittelbar auf den Querschwellen hat den Vorteil größter Einfachheit für sich. Dagegen greift infolgedessen das Zahnrad tief herunter und erschwert dadurch auch die Anordnung der Weichen und Kreuzungen. Um diesem Nachteile zu begegnen, zeigen die späteren Riggenbachschen Bahnen eine Lagerung der Zahnstange auf gußeißernen Stühlen nach Abb. 17 und 18. Diese Anordnung findet sich bei sämtlichen späteren Bahnen gemischten Betriebs.


Abb. 14. Alter Oberbau der Rigibahn.


Abb 15, 16. Zahnstange der Rigibahn. Neue Anordnung.


Abb. 17, 18. Zahnstange. Riggenbach.

Bei der Bestimmung der Einzelheiten für die Zahnstange wirkten die Professoren Reuleaux und Culmann mit, bei dem sehr gelungenen Entwurf der Lokomotiven vor allem Emil Plattner, ein ehemaliger Schüler Redtenbachers, langjähriger Konstrukteur der Hauptwerkstätte Olten.

Während in der Vollendung der Rigibahn, wie oben angedeutet, eine Verzögerung eintrat, konnte die später begonnene Werkbahn von der Station Ostermundingen in der Schweiz nach den in der Nähe gelegenen Steinbrüchen noch Ende 1870 dem Betriebe übergeben werden. Im Gegensatze zu der vorigen, reinen Zahnradbahn, war diese eine gemischte, d. h. für Reibungs- und Zahnradbetrieb bestimmt, ebenfalls von voller Spurweite, mit 100 v. T. größter Steigung. Die ganze Länge beträgt 1,5 km, wovon 1 km in gewöhnlicher Weise mit Reibung und 0,5 km mit Zahnstange betrieben werden. Hier wendete Riggenbach genau die Zahnstange vom Mt. Washington an, Abb. 6, bestehend aus zwei Winkeleisen mit dazwischen genieteten Rundeisen im Abstande von 100 mm, das Ganze, wie dort, auf eine kräftige hölzerne Langschwelle gelagert.

Nach einem neuen Gedanken dagegen wurde die Maschine gebaut. Sie ist eine Tenderlokomotive mit einer Lauf- und einer Triebachse (Abb. 19). Von den Dampfzylindern aus wird die Bewegung auf eine Vorlegewelle und von dieser mittels Zahngetriebe und Ubersetzungsrad auf die Zahnradachse übertragen, außerdem geht vom Kurbelzapfen der Vorgelegewelle auch eine Kuppelstange zur hinteren Achse. Diese ist doppelt, auf dem Kerne sind die beiden Kurbeln befestigt und

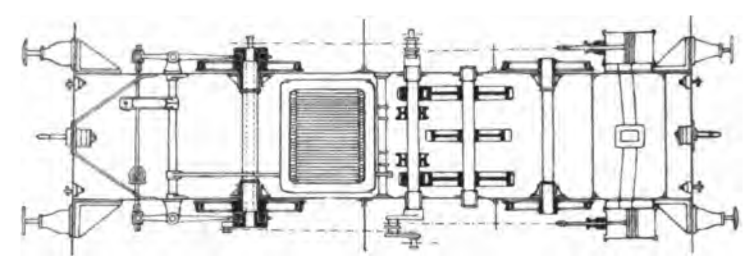


Abb. 19. Lokomotive. Ostermundingen.

außerdem eine Klauenkuppelung. Die äußere, hohle Achse trägt die Reibungstriebräder und in deren Nabe die entsprechende Hälfte der Klauenkuppelung. Während der langsamen Fahrt kann diese Kuppelung eingerückt werden. Es arbeitet dann die Maschine mit der Reibung der hinteren Achse, während das Zahntriebrad sich ebenfalls mitdreht. Wird die Kuppelung zum Befahren der Zahnstange ausgerückt, so wird das Zahnrad allein angetrieben und die Achse für die Reibungsräder folgt lose mit.

Die Einfahrt in die Zahnstange gestaltete sich unter diesen Umständen ziemlich schwierig. Ein ungefähr 3 m langes, erstes Stück Zahnstange war auf Hebedaumen gelegt. Die Maschine mußte sich über dieses Stück stellen und nun wurde dasselbe durch Drehen der Daumen gehoben, insofern nämlich die Lage des Zahnrades gerade den richtigen Eingriff gestattete. War dies nicht der Fall, so mußte die Maschine wieder ein Stück zurück, dann wieder heranfahren und das so oft wiederholen, bis der richtige Eingriff sich einstellte. Die Ausfahrt dagegen erfolgte naturgemäß immer anstandslos. Das von Riggenbach 1872 in den Vereinigten Staaten erworbene Patent bezieht sich auf diese Art der Einfahrt und die beschriebene Lokomotive.

Im Jahre 1876 wurde eine zweite Maschine nach Ostermundigen geliefert mit steifer Kuppelung zwischen Zahn- und Reibungsrad, ganz im Sinne des ursprünglichen französischen Patentes. Bei diesem Anlasse wurde von R. Abt eine neue Zahnstangeneinfahrt erfunden und gebaut, welche das Einfahren in die Zahnstange selbsttätig und ohne Anhalten des Zuges erlaubte. Wir werden darauf zurückkommen.

Nach diesen glücklichen Anwendungen war den Zahnradbahnen die Welt erschlossen. Unter persönlicher Mitwirkung Riggenbachs wurden 1874 die Kahlenbergbahn bei Wien und die Schwabenbergbahn bei Budapest erbaut, beide reine Zahnradbahnen nach dem Vorbilde am Rigi. In der Schweiz folgten 1875 zwei gleiche Ausführungen, die eine von Arth aus auf den Rigi, die andere von Rorschach nach Heiden.

Die letztgenannten vier Bahnen brachten leider kein entsprechendes Erträgnis; der größte Teil des Anlagekapitals blieb zinsenlos. Es mag das auf die weitere

Entwicklung der Zahnradbahnen lähmend gewirkt haben. Eine von Riggenbach geleitete Maschinenfabrik in Aarau, insbesondere zum Baue der mechanischen Ausstattung von Bergbahnen bestimmt, hatte unter derselben Ungunst zu leiden und mußte 1879 geschlossen werden, nachdem in den Jahren 1875 bis 1878 noch die Maschinen und Zahnstangen für die kleinen Werkbahnen in Wasseralfingen (Württemberg), Rüti und Laufen (in der Schweiz) hergestellt worden waren.

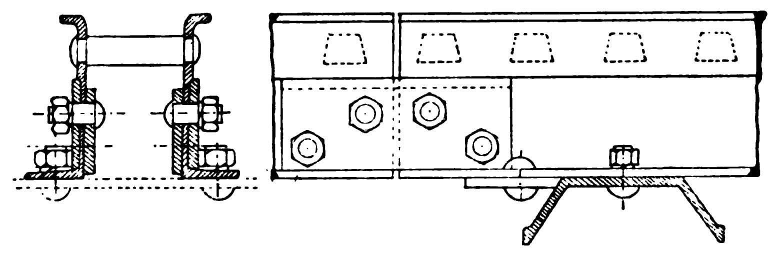


Abb. 20, 21. Leiterzahnstange. Bern.

Riggenbach übergab hierauf die Ausführung seines Systems der Maschinenfabrik Eßlingen, zog sich einige Jahre später ganz von den Geschäften zurück und starb im hohen Alter von 82 Jahren.

Die Leiterzahnstange ist aber auch von anderer Seite wiederholt ausgeführt worden, so namentlich von der Maschinenfabrik Bern, unter Anwendung wesentlicher Verbesserungen, wie beistehende Abbildungen 20 und 21 zeigen.

Wetli.

Noch während Riggenbach, anfänglich mit wenig Erfolg, seine Bemühungen um Anwendung des Zahnstangenbetriebs fortsetzte, war ihm, wie oben angedeutet, in R. Wetli, Kantonsingenieur von Zürich, ein Mitbewerber erstanden. Im Jahre 1868 erfolgte über Wetlis Bauart die erste umfassendere Veröffentlichung. Der theoretisch sehr schönen Idee war die Meinung vieler Techniker nicht ungünstig, das Urteil der Professoren sehr zustimmend. Bald nach Erscheinen einer von Professor Harlacher vom deutschen Polytechnikum in Prag verfaßten Schrift über diese Konstruktion gelang es Wetli, eine Gesellschaft zur Ausführung seiner Entwürfe zu bilden. Das Ziel war der Bau einer Bahn von Wädensweil am Zürichsee nach dem weitbekannten Wallfahrtsorte Einsiedeln in einer Länge von rund 17 km.

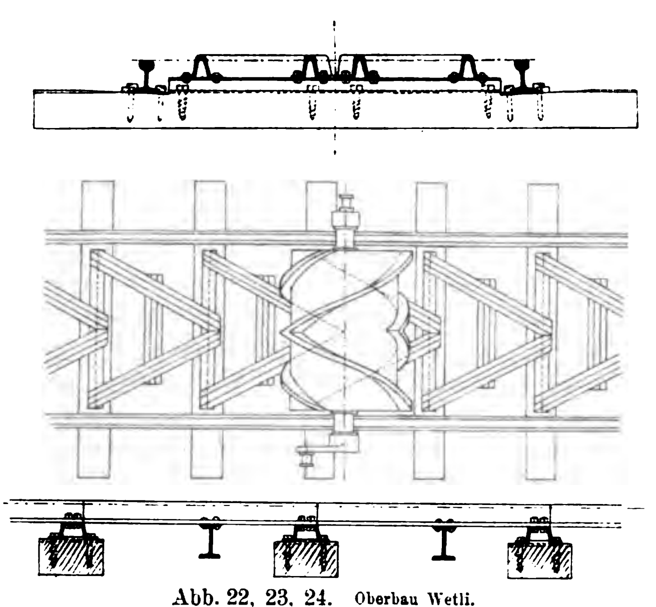


Abb. 22, 23, 24. Oberbau Wetli.

Das System Wetlis ist ein gemischtes. Die nämliche Maschine sollte sowohl die Bahnstrecken mit gewöhnlichen Steigungen, also bis zu ungefähr 25 v. T. als gewöhnliche Tendermaschine, wie auch höhere Steigungen, bis 80 v. T., mit vereinten Kräften der Reibungstriebräder und eines walzenförmigen Zahrades bewältigen, welch letzteres beliebig durch Dampfkraft gehoben und gesenkt werden konnte.

Im Jahre 1874 wurden auf einem etwa 400 m langen Stücke die ersten Probefahrten vorgenommen. Wenn auch nicht anstandslos, fielen sie doch so aus, daß der Weiterbau beschlossen und namentlich eine Vervollkommnung der Lokomotive angestrebt wurde. Im Herbst 1876 wurden mit der inzwischen fertig gestellten neuen Lokomotive weitere Proben ausgeführt, sie endeten aber am 30. November 1876 mit einem schweren Unfalle, den freilich die Bauart unmittelbar nicht verschuldet hatte. Die Folge davon war, daß die ganze Linie als gewöhnliche Reibungsbahn ausgebaut und seither als solche betrieben wurde.

Der Oberbau Wetlis bestand in Querschwellen von Holz mit kräftigen Breitfußschienen; dazwischen, fast die ganze Gleisweite ausfüllend, Winkel aus Hohlschienen gebildet, im Abstand von 900 mm, so daß das Gleis die Form einer Winkelzahnstange erhielt. Siehe Abb. 22, 23, 24. Das Triebrad hatte die Form einer Walze, auf die als Verzahnung ähnliche Winkelstücke wie jene des Oberbaues aufgenietet waren. Diese Triebachse war beständig in Bewegung, konnte aber, wie schon erwähnt, auf den flacheren Gefällen in die Höhe gehoben werden und drehte sich alsdann leer in der Luft. Die bei den Versuchen gefundenen Anstände waren hauptsächlich: Unregelmäßiges Anliegen der Verzahnung in den Bogen und bei ungenauer Lage des Oberbaues, infolge dessen starke Reibungswiderstände und Abnutzung. Bei Schnee und Eis dürfte wohl auch die Schwierigkeit, den Oberbau zu reinigen und damit einen genügend tiefen Eingriff zu sichern, fast unüberwindlich geworden sein. Einen zweiten Versuch hat diese Bauart seither nicht mehr erlebt.

R. Abt.

Im Jahre 1882 wurde dem Schüler und langjährigen Mitarbeiter Riggenbachs, Roman Abt in Luzern, ein Patent auf ein neues Zahnradsystem erteilt. Die unmittelbare Veranlassung zur Durchbildung desselben waren die Bemühungen des Geheimrats Albert Schneider um den Bau einer Bahn in dessen engeren Heimat, im Harz. Seit Jahren dauerten die Anstrengungen, die einst reiche Eisenindustrie jenes Landesteiles wieder fähig zum Wettbewerb zu machen und damit die Bevölkerung vor Verarmung zu schützen. Staat und Private wetteiferten in diesem Bestreben. Leider aber setzte die gebirgige Beschaffenheit der Gegend dem Unternehmen unabsehbare Schwierigkeiten entgegen.

Die Anlage einer Schmalspurbahn würde unter den obwaltenden Verhältnissen nicht genügt haben; ein wohlüberlegter, auf Grund des gewöhnlichen Reibungsbetriebs ausgearbeiteter Entwurf einer Vollbahn aber erforderte eine Bausumme von 9 Millionen Mark. Eine solche Summe konnte unmöglich verzinst werden.

In dieser Bedrängnis machte sich die Seele jener Bemühungen, A. Schneider, damals Direktor der Halberstadt-Blankenburger-Eisenbahn, an das eingehende Studium der bereits vorhandenen Zahnradbahnen, in dem berechtigten Gefühle, daß dieser Bauart die Fähigkeit innewohnen müßte, auch für größere Verhältnisse ähnliche Vorteile zu bieten, wie in den bisherigen Ausführungen für Vergnügungs- und kleine Werkbahnen. Bei der Entschiedenheit und Arbeitskraft dieses Mannes konnte der

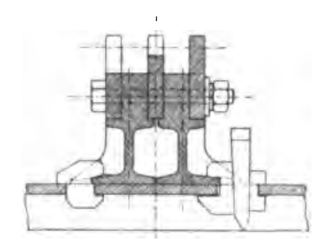


Erfolg nicht ausbleiben. Die grundlegenden Studien schlossen mit der Überzeugung, daß der Zahnradbetrieb auch den Anforderungen einer großen Bahn genügen werde, besonders wenn an den Lokomotiven gewisse Bedingungen hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Teilung der Arbeit erfüllt werden könnten. Der gründlichen Bekanntschaft mit den damals ausgeführten Zahnradbahnen folgte jene mit den Technikern, welche auf dem Sondergebiete tätig waren, und das Endergebnis war das Zahnradsystem von Abt mit seiner ersten Anwendung auf der Harzbahn.

Die bisher bekannten Zahnstangen waren dem Wesen nach als Leitern zu betrachten, auf welche sich der Zug stützte und Sprosse um Sprosse hinaufkletterte. Statt nun den Stützpunkt unten anzunehmen, konnte er auch ebensowohl oben gesucht und dementsprechend die Zahnstange als Seil oder Gelenkkette durchgebildet werden, wobei ganz wie bei der Leiter, auch eine Verankerung der Zahnstange mit jeder Querschwelle möglich wurde. Eine weitere Ähnlichkeit mit der Kette ließ sich dadurch erreichen, daß die neue Zahnstange nicht aus stumpf gestoßenen Stücken, sondern aus Gliedern gebildet wurde, die ineinander übergriffen und somit ein zusammenhängendes Ganzes bildeten.

Ein ebensolcher Zusammenhang war aber auch noch in der Verzahnung zu erreichen. Die Mechanik kennt hierfür längst erprobte Lösungen, bekannt unter der Bezeichnung Whitesche oder Kegelräder, sodann die Stufenzahnräder. Wo es sich im Maschinenbau um sehr rasch gehende Getriebe handelt, oder um solche, die, wie z. B. bei gewissen Hobelmaschinen, eine ganz sanfte gleichmäßige Arbeit liefern sollen, oder um solche, die sehr großen Druck auszuüben haben, wie bei gewissen Walzwerken und Preßwassermaschinen, werden mit bestem Erfolge derartige Stufenräder angewendet.

Gerade diese drei Anforderungen treten aber vereint beim Zahnbetriebe auf Eisenbahnen auf. Stufenräder mußten sich daher auch hier bewähren und die zugehörige Zahnstange mußte entsprechend verschränkte Verzahnungen erhalten. Damit ist ihre Arbeitsweise derjenigen der gewöhnlichen Reibungsräder um ein Bedeutendes ähnlicher gemacht. Das Fortbewegen einer Last auf den schmalen, glatten



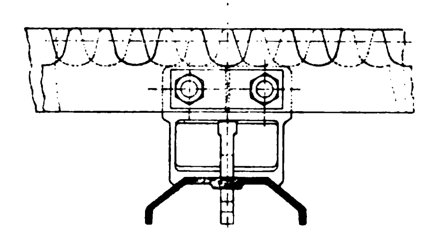


Abb. 25, 26. Zahnstange der Harzbahn.

Schienen durch Drehen der ebenfalls glatten Triebräder kann bekanntlich damit erklärt werden, daß beim Abrollen der Räder die unendlich kleinen Unebenheiten des Radumfanges in diejenigen der Schienenoberfläche eingreifen, sich dagegen stützen und dadurch die Vorwärtsbewegung ermöglichen. Diese Unebenheiten, ins tausendfache übersetzt, bilden eine Zahnstange und zwar eine vielfache mit, wenn auch unregelmäßiger, doch verschränkter Verzahnung.

Die Abtsche Zahnstange der Harzbahn, Abb. 25 und 26, besteht aus drei in Abständen von 35 mm parallel nebeneinander stehenden Platten. Jede derselben ist

eine einfache Zahnstange mit Evolventenverzahnung, hergestellt aus einem Stabe von rechteckigem Querschnitt aus weichem, zähem Stahl. Diese Platten sind so nebeneinander angeordnet, daß die Zähne der einen je um $^1/_3$ der Teilung gegenüber der Nachbarplatte versetzt sind. In ähnlicher Weise sind dann auch die 2640 mm langen Platten selber versetzt, so daß über einem Lagerstuhl nur der eine Strang gestoßen ist, während die beiden anderen mit vollem Stegquerschnitt durchlaufen. Gehalten werden die Platten über jeder Querschwelle durch einen Lagerstuhl, welcher zwischen die Platten greift und deren richtigen Abstand herstellt. Er besitzt seitlich Schultern, auf welchen die Platten aufgelegt sind und dient mit seinem unteren Teile zur Verbindung zwischen Zahnstange und Querschwelle.

Der Grundsatz der Teilung der Arbeit, wie wir ihn soeben bei der Zahnstange gefunden haben, ist aber auch bei den Abtschen Lokomotiven folgerichtig durchgeführt. Nicht nur enthält das Zahntriebrad die der Plattenzahl entsprechende Anzahl Zahnkränze, am Harz also drei, sondern es erhält auch jede Maschine mindestens zwei, bei späteren Ausführungen für sehr hohen Zahndruck, auch drei Zahntriebräder. Ferner sind diese Zahntriebräder zwar gekuppelt, aber unter sich wiederum verschränkt, so daß bei jedem Sechstel der Teilung, also alle 20 mm, ein neuer Zahneingriff stattfindet. Dadurch ist ein sehr ruhiger und sanfter Gang der Lokomotive in der Zahnstange erreicht, trotz allfälliger Ungleichheiten in der Teilung. Damit aber die einzelnen Zahnkränze tatsächlich auch zum Anliegen und Arbeiten kommen, sind dieselben nicht etwa auf die Triebachse festgekeilt, sondern durch Federn gehalten (Abb. 27). Letztere sind so bemessen, daß sie sich um ein gewisses Maß zusammendrücken lassen und der ganze Zahnkranz also auf der Achse federt, wenn infolge Unregelmäßigkeiten der Zahnstange die Inanspruchnahme des einen Kranzes ein bestimmtes Maß übersteigen wollte.

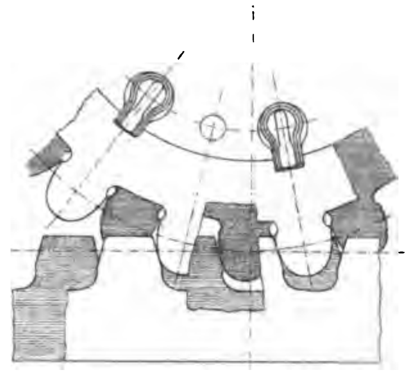


Abb. 27. Verzahnung und Federung der Zahnkränze.

Die Teilung der Arbeit ist übrigens noch weiter getrieben. Lokomotiven für so große Leistungen, wie die ins Auge gefaßten, erhalten unvermeidlich ein bedeutendes Gewicht. Wenn nun auch die Reibung zwischen Schiene und Rad je nach der Witterung sehr wechselnd ist, so wäre es doch ganz unzweckmäßig, auf sie zu verzichten. Bei den Lokomotiven dieses Systems war daher das Bestreben maßgebend, jene Zugkraft, welche die Maschine infolge ihres Gewichtes abzugeben vermag, bis zur äußersten Grenze zur Fortbewegung des Zuges herbeizuziehen und nur den beständig oder zeitweise fehlenden Teil durch das Zahnrad zu ergänzen. Die Abtschen Lokomotiven sind daher in erster Linie Reibungsmaschinen mit allen Vorzügen und Nachteilen, welche diesen eigen sind. Als solche arbeiten sie längs der ganzen Bahn, während die Zahnradvorrichtung ausschließlich auf den ungewöhnlich steilen, mit Zahnstange ausgerüsteten Strecken zur Tätigkeit kommt. Letztere besteht aus einem besonderen, zwischen oder über den Zylindern der Reibungsmaschine gelagerten Dampfzylinderpaar und der entsprechenden gewöhnlichen Übersetzungsvorrichtung zum Antriebe der Zahntriebachsen, die ihrerseits in einem besonderen Rahmen gelagert sind. Das Ganze ist unter dem gemeinschaftlichen

Dampfkessel zwischen die Reibungstriebachsen entsprechend verteilt, angeordnet. Durch solche vollständige Trennung von Reibungs- und Zahnradtriebwerk ist neben anderem namentlich auch der große Vorteil erreicht, daß die Lokomotive tatsächlich auf allen Strecken der Bahn, ob mehr oder weniger steil, mit ihrer vollen, der Verdampfungsfähigkeit des Kessels angemessenen Kraft arbeiten kann, indem auf den starken Steigungen, wo die Zugkraft, der eine Faktor der Arbeit, sehr groß ist, langsam, auf den wagerechten oder wenig geneigten Strecken aber, wo die Zugkraft nur eine geringe zu sein braucht, entsprechend rasch gefahren wird.

Im Mai 1885 kamen die ersten Lokomotiven dieser Bauart auf dem ersten Abschnitt der Harzbahn in Betrieb. Der Erfolg war ein glänzender. Das ganze Werk erregte in der Eisenbahnwelt Aufsehen und erhielt Besuche aus allen Ländern der Welt. 1886 war die ganze Linie vollendet. Sie hat volle Spurweite und bildet ein Glied der deutschen Vereinsbahnen; alle Personen- und Güterwagen, auch Langholzwagen gehen ungehindert auf dieselbe über. Ihre Länge ist 30,5 km. Im ganzen kommen 10 Zahnstangenstrecken vor mit zusammen 7,5 km Länge und Steigungen zwischen 40 und 60 v. T., deren längste 1450 m, deren kürzeste 202 m beträgt. Die Bogenhalbmesser betragen 240 bis 300 m. Die Reibungsstrecken haben Steigungen von 0 bis 25 v. T. und Krümmungen bis hinunter auf 180 m Halbmesser. Der Oberbau gewöhnlicher Art besteht aus Stahlschienen von 30 km Gewicht und eisernen Querschwellen. Die Befestigung der Schienen, wie auch der Zahnstangenstühle auf den Schwellen erfolgt mittels Haken und Keilverschluß.

Als Leistung war die Fortbewegung eines Zuges von 120 Tonnen in Aussicht genommen, mit einer Fahrgeschwindigkeit von 9 km in der Stunde auf den Zahnstangenstrecken und von 15 km auf jenen Reibungsstrecken, wo, ebenso wie auf der Zahnstange, die Züge aus Sicherheitsrücksichten geschoben werden mußten.. Auf den gewöhnlichen Reibungstrecken kann die Fahrgeschwindigkeit bis 50 km betragen. Bald zeigte sich, daß die 56 Tonnen schweren Lokomotiven noch mehr leisten konnten. Seit Jahren werden Züge von 135 Tonnen mit 10 km/St. regelmäßig bergwärts befördert, ausnahmsweise auch solche von 150 Tonnen, die Lokomotive nicht eingegerechnet. Die Anlage der ganzen Bahn kostete $4^1/_2$ Millionen Mark.

Noch im gleichen Jahre erfolgte die Anwendung derselben Bauart auf der vollspurigen Werkbahn des Kommerzienrates Örtel in Örtelsbruch und auf einer Bahn von 69 cm Spurweite in den dortigen Schieferbrüchen. In Anbetracht der weit geringeren Leistung dieser Bahnen wurden die betreffenden Zahnstangen nur zweiteilig ausgeführt.

Im folgenden Jahre wurde ein Teilstück der Puerto-Cabello-Valenzia-Bahn in Venezuela mit dreiteiliger Zahnstange ausgerüstet und im Jahre 1888 der für eine Verbindung von Visp mit Zermatt in Überlegung gezogene Entwurf einer Reibungsbahn mit 45 v. T. größter Steigung aufgegeben und die Bahn nach dem Abtschen vereinigten Reibungs- und Zahnradsystem ausgeführt. Von der 35,5 km langen Bahn erhielten sechs Stellen mit zusammen 7,5 km Länge Steigungen bis 125 v. T. und eine zweiteilige Zahnstange, die übrigen Strecken sind reine Reibungsstrecken mit 27 v. T. größter Steigung. Die Spurweite beträgt 1 m. Die Bogen haben Halbmesser von 80 m (im Bahnhofe Visp 50 m) in den Reibungs- und 100 m in den Zahnradstrecken. Das Gewicht der dienstfähig ausgerüsteten Lokomotive ist 29 Tonnen, wovon 21 Tonnen Reibungsgewicht, jenes der Züge 45 Tonnen.

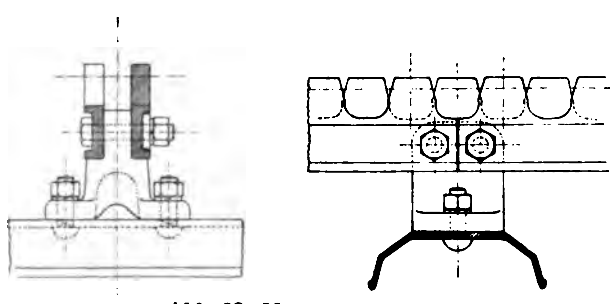
Im Jahre 1889 fand die in Rede stehende Bauart ihre erste Anwendung für eine reine Vergnügungsbahn von Capolago, der Endstation des Luganersees, auf

den 1700 m hohen Generoso an der schweizerisch-italienischen Grenze. Nach dem Vorbilde der Pilatusbahn erhielt diese Bahn 80 cm Spurweite, schärfste Bogen von 80 m Halbmesser und eine größte Steigung von 220 v. T. Gleichzeitig hatte die österreichische Regierung für eine unmittelbare Verbindung über den Erzberg und die gemeinsame k. k. Regierung für die Okkupationsländer in Bosnien und Herzegowina die Anwendung des Abt'schen gemischten Betriebs für bedeutende Bauten beschlossen.

Die Linie Eisenerz-Vordernberg in Steiermark erhielt 20 km Länge und eine größte Steigung von 71 v. T. in den Zahnstangen-, 25 v. T. in den übrigen Strecken. Die Lokomotiven wurden noch kräftiger als jene am Harz hergestellt, so daß sie bergwärts Züge von 120 Tonnen, talwärts solche bis 200 Tonnen Gewicht befördern.

Die bosnisch-herzegowinische Linie von Sarajevo bis Konjica, in einer Länge von 56 km, mit der bekannten Spur von 76 cm, erhielt eine größte Steigung von 60 v. T. für die 20 km langen Zahnstangenstrecken, von 15 v. T. für den übrigen Teil.

In großem Maßstabe wurde die Zahnstange für die Überschienung der Kordilleren in Südamerika zwischen Mendozza und St^a. Rosa dienstbar gemacht.


Abb. 28, 29. Zahnstange. Abt.

Auch in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, wo die ersten neuzeitlichen Zahnradbahnen zur Ausführung gekommen, fand die Abt'sche Bauart im Jahre 1890 ihre erste Anwendung zur Ersteigung des 4320 m hohen Pike's Peak im Staate Colorado. Die dortige Bahn hat 250 v. T. Steigung, 15 km Länge; sie beginnt 2200 m über dem Meer.

In rascher Reihenfolge kamen sodann weitere Bahnen in der Schweiz, Deutschland, Frankreich, Indien, England, Japan, S. Domingo, Spanien, Ungarn, Syrien,

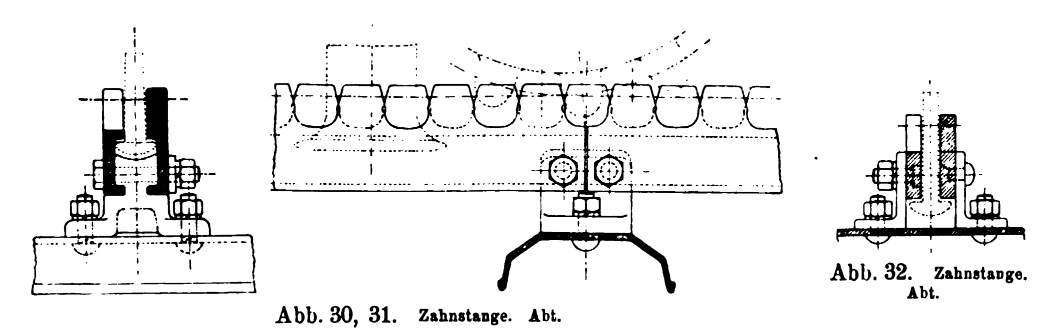

Abb. 30, 31. Zahnstange. Abt.

Abb. 32. Zahnstange. Abt.

Australien usw. zur Ausführung, bis 1905 insgesamt 48 Linien mit rund 920 km Länge, davon 340 km mit Zahnstange, auf welchen 245 Maschinen, meistens Dampflokomotiven, aber auch eine größere Anzahl elektrischer Motoren, mit einer Gesamtleistung von rund 60 000 Pferdestärken den Dienst versehen.

Die Abt'sche Zahnstange gestattet hinsichtlich Plattenzahl, Stärke und Einrichtung für besonders starke Gefälle, wie die vorstehenden Abb. 28 bis 32 zeigen, eine bequeme Anpassung an die verschiedensten Verhältnisse.

Klose-Bissinger.

Fast gleichzeitig mit der Harzbahn wurde im Großherzogtum Baden die Linie von Freiburg nach Neustadt in Angriff genommen und bei den zu überwindenden Höhenunterschieden ebenfalls für Zahnradbetrieb eingerichtet.

Den Lokomotiven wurde die Abt'sche Anordnung der Harzmaschienen zugrunde gelegt mit drei gekuppelten Reibungsachsen, jedoch ohne hintere Laufachse, mit zwei ebenfalls gekuppelten, durch einen zweiarmigen Hebel angetriebenen Zahnrädern, mit einem Dienstgewicht von rund 43 Tonnen. Als Zahnstange dagegen wurde eine

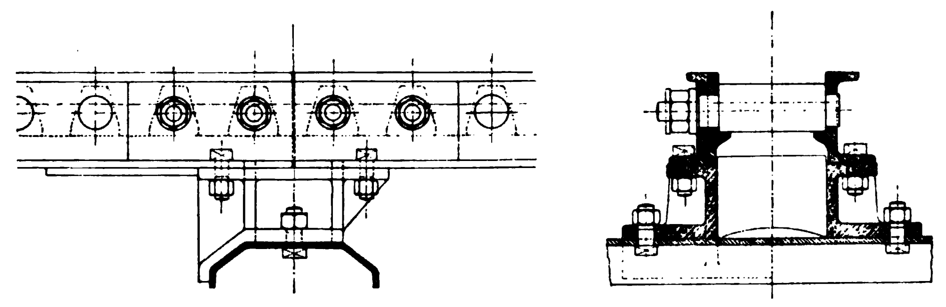


Abb. 33, 34. Zahnstange der Höllentalbahn. Klose-Bissinger.

der Riggenbach'schen verwandte Leiterstange, Abb. 33 und 34, verwendet. Dieselbe besteht aus zwei ⊏ förmigen Wangen mit dazwischen angeordneten Zähnen von trapezförmigem Querschnitt, die jedoch an den Enden nicht vernietet, sondern mit einem runden Halse passend in die Wangen gesteckt sind. Damit bei der Arbeit ein Drehen der Zähne nicht eintrete, liegen diese mit ihrer Unterfläche auf einer an der Innenseite der Wangen angewalzten Rippe auf. Die einzelnen Stücke sind mit kräftigen Laschen verbunden. Um der Zahnstange die gewünschte Höhenlage über den Fahrschienen zu geben, ist sie über jeder Querschwelle auf gußeiserne Stühle geschraubt.

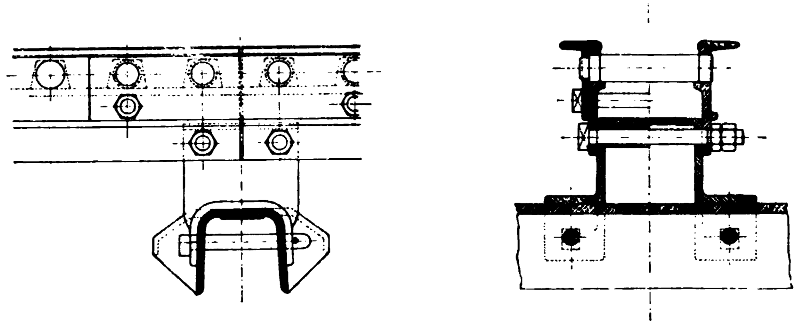


Abb. 35, 36. Zahnstange. Klose.

Eine ähnliche Zahnstange, jedoch mit gepreßten Stühlen, kam 1890 auf der Zahnstangenbahn von St. Gallen nach Gais in der Schweiz, ferner 1892 auf dem 2,2 km langen Teilstück Honau-Lichtenstein der württembergischen Staatsbahnen, beide Male unter der Leitung des Oberbaurates A. Klose, nach Abb. 35 und 36 zur Verwendung. Im ganzen sind nach dieser Bauart bis heute fünf Linien gebaut worden.

Locher.

Am vielbesuchten Vierwaldstättersee, dem Rigi gegenüber, liegt der Pilatus, das Urbild eines richtigen Alpenstockes mit ähnlicher Rundschau auf die Niederung wie am Rigi, dazu mit großartigem Überblick über einen der schönsten Hochgebirgsteile der Schweiz. Dagegen ist die Geländebildung hier sehr schwierig, wild und zerklüftet, während die Verhältnisse am Rigi für die Bahnanlage günstige waren. Auch dieser Berg sollte seine Bahn erhalten. Eduard Locher im Verein mit seinem Schwager Guyer-Freuler stellte sich diese ebenso anregende wie schwierige Aufgabe und führte sie in den Jahren 1886 bis 1888 glänzend durch. Am Pilatus war ohne ganz außergewöhnliche Kosten an die Anwendung der bisher üblichen Steigungen nicht mehr zu denken. Die Erbauer entschlossen sich daher zur Anwendung einer neuen Zahnstange, einer solchen mit liegenden Zähnen, wobei die Steigung der Bahn für den sicheren Eingriff der Zahnräder ganz außer Betracht fiel.

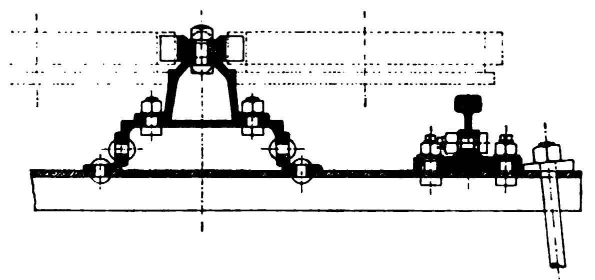


Abb. 37. Oberbau. Locher.

Diese Zahnstange (Abb. 37) besteht dem Wesen nach aus einer beiderseitig gezahnten Platte, derart gelagert, daß gleichzeitig zwei einander gegenüberliegende Zahnräder in dieselbe eingreifen. Sie ist ihrer Länge nach auf eine trapezförmige Langschwelle genietet und diese endlich mit Winkelstücken auf die Querschwellen befestigt. Die Bahn hat eine Länge von 4,6 km mit Steigungen bis zu 480 v. T.

Eine weitere Anwendung dieser wohlerwogenen, vollste Sicherheit bietenden und in ihrer Ausführung sehr gelungenen Bauart ist seither nicht erfolgt.

Telfener.

Im Jahre 1891 bemühte sich Graf Telfener um den Bau einer Zahnradbahn nach dem romantisch gelegenen, von herrlichen Tannenwaldungen umgebenen Vallombrosa. Angeblich aus Billigkeitsrücksichten wurde eine abgeänderte Form der Plattenzahnstange gewählt und in Belgien zur Ausführung gebracht.

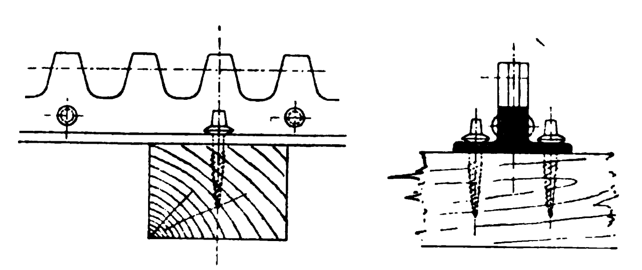


Abb. 38, 39. Zahnstange. Telfener.

Diese Zahnstange (Abb. 38 und 39) besteht aus zwei einfachen, mit den Schenkeln zusammengenieteten Winkeleisen, deren wagerecht liegende Schenkel zum Befestigen auf Querschwellen dienen, während die aufrecht stehenden die Zahnung tragen. Für größere Inanspruchnahme werden zwischen die beiden Winkeleisen noch ein bis zwei Zahnplatten eingelegt.

Strub.

Nachdem sich seit Jahren eine Reihe von Technikern mit der Anlage einer Bahn auf die Jungfrau, einer der bekanntesten Gipfel der Berner Alpen, beschäftigt und einige zum Teil hochinteressante Entwürfe zutage gefördert hatten, ohne eine Verwirklichung ihrer Pläne zu erreichen, war es dem ebenso tatkräftigen, wie vermögenden Industriellen und Präsidenten des Verwaltungsrates der Nordostbahn, Guyer-Zeller, vorbehalten, dieses kühne Unternehmen der Verwirklichung entgegen zu führen, so daß bereits im Sommer 1896 die Arbeiten begonnen werden konnten.

Der 2068 m über Meer gelegene Gipfelpunkt Scheidegg der Wengernalpbahn wurde als sehr günstiger Ausgangspunkt für die künftige Jungfraubahn gewählt; deren Gesamtlänge zu 10 km angenommen ist. Trotz ungewöhnlicher Anstrengungen wollte die Geldbeschaffung für das ganze Unternehmen während der ersten Jahre nicht gelingen, so daß der Konzessionär genötigt war, mit eigenen Mitteln Hilfe zu schaffen. In neuester Zeit scheint in dieser Beziehung eine befriedigende Lösung erzielt worden zu sein.

Das erste, 2 km lange, durch sanft ansteigende Gelände führende Stück, mit 124 v. T. größter Steigung, das baulich geringe Schwierigkeiten bot, wurde Ende September 1898 dem Betriebe übergeben. An der Fortsetzung wird seither eifrig gearbeitet. Herr Guyer-Zeller hoffte 1904 den Gipfel des Berges zu erreichen, starb aber schon 1899. Zur Zeit, 1905, sind 5 km vollendet.

Es wurde erwartet, daß die eigentliche Jungfraubahn, trotz einer Größtsteigung von nur 250 v. T. in ihren höheren Abschnitten mit allerlei, durch Vereisung oder dergleichen hervorgerufenen Schwierigkeiten zu kämpfen haben dürfte. Der damalige technische Direktor der Bahn, E. Strub, brachte daher eine neue Zahnstange (Abb. 40 und 41) in Anwendung.

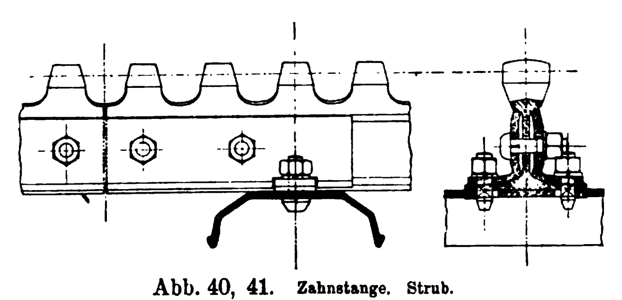


Abb. 40, 41. Zahnstange. Strub.

Diese Zahnstange besteht aus einer kräftigen, hohen Breitfußschiene, in deren Kopf die gewöhnliche Evolventenverzahnung eingeschnitten ist. Der Übergang des Schienensteges in den Kopf wird durch zwei schiefe Flächen gebildet. Dieselben sollten ursprünglich einer Zangenbremse als Angriffsfläche, und gleichzeitig auch als Führung gegen allfälliges Aufsteigen der Zahnräder dienen. Dem letzteren Zwecke können solche Zangen dienstbar gemacht werden, doch zeigen die Betriebserfahrungen, daß sie bei Zahnradbahnen nur beschränkten Wert haben; von ihrer Verwendung als Bremsen mußte aus naheliegenden Gründen gleich anfangs abgesehen werden.

Ausgeführte Zahnradbahnen.

Laufende Nummer	Name der Bahn	Land	Erbaut seit	Bauart	Spurweite mm	Länge km Reibung allein	Länge km Zahnstange	Länge km Zusammen
1	Middleton, Kohlenwerk	England	1812	Blenkinsop	1435	—	5,6	5,6
2	Madison-Indianapolis	Nordamerika	1847	Cathcart	1435	1,1	2,1	3,2
3	Mount Washington	"	1868	Marsh	1435	—	4,5	4,5
4	Rigi-Vitznau	Schweiz	1871	Riggenbach	1435	—	7,0	7,0
5	Ostermundingen	"	1871	"	1435	0,9	0,6	1,5
6	Kahlenberg	Osterreich	1874	"	1435	—	5,4	5,4
7	Schwabenberg	Ungarn	1874	"	1435	—	3,0	3,0
8	Arth-Rigi	Schweiz	1875	"	1435	—	9,8	9,8
9	Rorschach-Heiden	"	1875	"	1435	1,5	5,5	7,0
10	Wasseralfingen	Württemberg	1876	"	1000	1,2	0,8	2,0
11	Rüti	Schweiz	1877	"	1435	0,5	0,1	0,6
12	Laufen	"	1878	"	1435	0,2	0,1	0,3
13	Friedrichsegen	Preußen	1880	"	1000	1,8	0,6	2,4
14	Sálgo-Tarján	Ungarn	1881	Leiterstange	790	5,0	4,0	9,0
15	Herdorf, Kupferwerk	Preußen	1882	"	850	2,2	0,2	2,4
16	Petropolis	Brasilien	1882	Riggenbach	1000	—	5,9	5,9
17	Green Mountains	Nordamerika	1883	Marsh	1435	—	3,7	3,7
18	Drachenfels	Preußen	1883	Riggenbach	1000	—	1,5	1,5
19	Corcovado	Brasilien	1883	"	1000	—	3,7	3,7
20	Rüdesheim	Preußen	1884	"	1000	—	2,4	2,4
21	Degerloch*	Württemberg	1885	"	1000	—	2,0	2,0
22	Zakarotz	Ungarn	1885	"	1000	1,3	4,2	5,5
23	Aßmannshausen	Preußen	1885	"	1000	—	1,4	1,4
24	Harzbahn	Braunschweig	1885	Abt	1435	23,5	7,0	30,5
25	Lehesten	Thüringen	1885	"	1435	1,4	1,3	2,7
26	Örtelsbruch	"	1886	"	690	4,3	0,7	5,0
27	Puerto Plato	Venezuela	1886	"	1067	—	3,8	3,8
28	Neapel	Italien	1886	Riggenbach	1435	0,7	0,8	1,5
29	Langres	Frankreich	1887	"	1000	0,5	1,0	1,5
30	Gaisberg	Österreich	1887	"	1000	—	5,3	5,3
31	Bolanpaß	Indien	1887	Abt	1676	8,8	11,2	20,0
32	Pilatus	Schweiz	1888	Locher	800	—	4,6	4,6
33	Brünig	"	1888	Leiterstange	1000	7,2	9,0	16,2
34	Höllental	Baden	1888	Klose-Bissinger	1435	27,8	7,2	35,0
35	Padang	Sumatra	1889	Riggenbach	1067	24,0	29,0	53,0
36	Petersberg	Preußen	1889	"	1000	—	1,2	1,2
37	Achensee	Österreich	1889	"	1000	3,0	3,3	6,3
38	Generoso	Schweiz	1890	Abt	800	—	9,0	9,0
39	Berner Oberland	"	1890	Leiterstange	1000	19,0	4,4	23,4
40	Visp-Zermatt	"	1890	Abt	1000	27,5	7,5	35,0
41	St. Gallen-Gais	"	1890	Klose	1000	10,7	3,3	14,0
42	Pike's Peak	Nordamerika	1890	Abt	1435	—	15,0	15,0
43	Oporto	Portugal	1891	Riggenbach	1670	0,3	0,7	1,0
44	Eisenerz-Vordernberg	Österreich	1891	Abt	1435	5,5	14,5	20,0

* mit elektrischem Betriebe seit 1900.

Laufende Nummer	Name der Bahn	Land	Erbaut seit	Bauart	Spurweite mm	Länge km Reibung allein	Länge km Zahnstange	Länge km Zusammen
45	Argentin. Transandino . .	Südamerika	1891	Abt	1000	30,0	12,0	42,0
46	Sarajevo-Konjica	Bosnien	1891	"	760	36,0	20,0	56,0
47	Diakophto-Kalawrita. . .	Griechenland	1891	"	750	19,4	3,6	23,0
48	Rothorn	Schweiz	1891	"	800	—	7,6	7,6
49	Glion-Naye	"	1891	"	800	—	7,8	7,8
50	San Domingo	Westindien	1891	"	765	29,6	6,4	36,0
51	Salève*	Frankreich	1892	"	1000	—	9,0	9,0
52	Usui Toge	Japan	1892	"	1067	2,5	8,5	11,0
53	Revard	Frankreich	1892	"	1000	—	9,2	9,2
54	Montserrat	Spanien	1892	"	1000	—	8,0	8,0
55	Honau-Lichtenstein . . .	Württemberg	1892	Klose	1435	11,0	2,2	13,2
56	Madeira	Madeira	1892	Riggenbach	1000	—	3,2	3,2
57	Valombrosa.	Italien	1892	Telfener	800	—	4,5	4,5
58	Schafberg	Österreich	1893	Abt	1000	—	6,0	6,0
59	Barmen*	Preußen	1893	Riggenbach	1000	—	1,6	1,6
60	Sulmona	Italien	1893	Leiterstange	1435	7,5	4,5	12,0
61	Wengernalp.	Schweiz	1893	"	800	—	18,0	18,0
62	Schynige Platte	"	1893	"	800	—	7,3	7,3
63	Monte Carlo	Monaco	1893	Riggenbach	1000	—	2,5	2,5
64	Beirut-Damaskus	Syrien	1894	Abt	1050	114,0	32,0	146,0
65	Travnik-Bugojno	Bosnien	1894	"	760	37,4	6,8	44,2
66	Rima-Murany	Ungarn	1895	"	635	3,0	0,2	3.2
67	Snowdon	England	1895	"	800	—	7,3	7,3
68	Tiszolcz-Zolyombrézo . .	Ungarn	1895	"	1435	36,0	6,0	42,0
69	Mount Lyell	Australien	1896	"	1067	15,7	7,6	23,3
70	Hernádtal.	Ungarn	1896	"	1435	1,0	0,3	1,3
71	Csorba-Csorbasee	"	1896	Leiterstange	1000	—	5,0	5,0
72	Transvaal.	Afrika	1896	Riggenbach	1067	8,0	5,0	13,0
73	Silberminen Peñoles. . .	Mexiko	1897	Abt	760	7,0	3,0	10,0
74	Schneeberg	Österreich	1897	"	1000	—	10,0	10,0
75	Moonmera-Mt. Morgan . .	Australien	1897	"	1067	6,7	2,3	9,0
76	Nilgiri	Indien	1898	"	1000	26,2	19,3	45,5
77	Gornergrat*	Schweiz	1898	"	1000	—	10,0	10,0
78	Stanstad-Engelberg*. . .	"	1898	Leiterstange	1000	—	1,2	1,2
79	Jungfraubahn*	"	1898	Strub	1000	—	5,0	5,0
80	Trait-Planches*	"	1898	Leiterstange	1000	2,5	0,5	3,0
81	Laon-Ville*	Frankreich	1898	Abt	1000	0,5	1,0	1,5
82	Brohltal	Deutschland	1899	"	1000	20,0	4,0	24,0
83	Lyon-Saint Just*	Frankreich	1899	"	1000	2,5	1,0	3,5
84	Bex-Gryon-Villars* . . .	Schweiz	1899	"	1000	—	5,0	5,0
85	Aigle-Leysin*.	"	1900	"	1000	—	5,5	5,5
86	Santiago*	Chili	1900	"	1000	—	0,5	0,5
87	Warschau	Rußland	1901	"	800	2,0	0,7	2,7
88	Eulengebirgsbahn	Preußen	1901	"	1435	15,0	3,8	18,8
89	Schulau-Hamburg* . . .	Deutschland	1901	"	800	1,8	0,2	2.0
90	Freudenstadt-Reichenbach	"	1901	Klose	1435	6,7	5,6	12,3
91	Schleusingen-Ilmenau . .	"	1901	Abt	1435	27,0	4,5	31,5

* mit elektrischem Betriebe.

Laufende Nummer	Name der Bahn	Land	Erbaut seit	Bauart	Spurweite mm	Länge km Reibung allein	Länge km Zahnstange	Länge km Zusammen
92	Tannwald-Grüntal	Österreich	1902	Abt	1435	2,5	4,5	7,0
93	Triest-Opcina*	„	1902	Strub	1000	—	0,8	0,8
94	Görlitz-Krischa	Deutschland	1902	Abt	1435	20,8	1,6	22,4
95	Vesuv*.	Italien	1902	Strub	1000	—	1,8	1,8
96	Djamboc-Pingit	Java	1903	Riggenbach	1067	21,9	5,6	27,5
97	Gais-Appenzell	Schweiz	1903	Klose	1000	3,5	2,1	5,6
98	Argentin. Nordbahn . . .	Argentinien	1904	Abt	1000	7,0	9,5	16,5
99	Brunnen-Morschach* . .	Schweiz	1904	Strub	1000	—	2,2	2,2
100	Albbruck	Deutschland	1905	Abt	1435	1,6	0,4	2,0
101	Chili-Transandino	Südamerika	1905	„	1000	15,0	18,0	33,0
102	Boppard-Castellaun . . .	Deutschland	1905	„	1435	31,4	5,6	37,0

Betriebslänge der Zahnradbahnen zu verschiedenen Zeiten.

Land	1811 km	1847 km	1870 km	1880 km	1890 km	1900 km	1905 km
England	5,6	—	—	—	—	7,3	7,3
Nordamerika	—	3,2	4,5	4,5	23,2	69,2	69,2
Schweiz	—	—	1,5	26,2	128,4	196,9	206,6
Österreich-Ungarn . . .	—	—	—	8,4	34,5	189,0	196,8
Deutschland	—	—	—	5,4	89,7	150,0	276,0
Südamerika	—	—	—	—	13,4	55,9	105,4
Italien	—	—	—	—	1,5	18,0	19,8
Frankreich	—	—	—	—	1,5	27,2	27,2
Asien	—	—	—	—	73,0	275,5	303,0
Portugal	—	—	—	—	—	1,0	1,0
Griechenland	—	—	—	—	—	23,0	23,0
Spanien	—	—	—	—	—	11,2	11,2
Australien	—	—	—	—	—	32,3	32,3
Afrika	—	—	—	—	—	15,0	15,0
Rußland	—	—	—	—	—	—	2,7
Im Betriebe	5,6	3,2	6,0	44,5	365,2	1071,5	1296,5

Auf die verschiedenen Bauarten verteilt:

48	Bahnen nach Abt	mit	921,0 km	Länge
29	„ „ Riggenbach	„	180,0 „	„
10	„ mit Leiterzahnstangen	„	97,5 „	„
5	„ nach Klose-Bissinger	„	80,1 „	„
4	„ „ Strub	„	10,0 „	„
2	„ „ Marsh	„	8,2 „	„

* mit elektrischem Betriebe.

1 Bahn	nach	Blenkinsop	mit 5,6 km	Länge
1 „	„	Locher	„ 4,5 „	„
1 „	„	Telfener	„ 4,5 „	„
1 „	„	Cathcart	„ 3,2 „	„

§ 3. Bahnen mit glatter Mittelschiene.

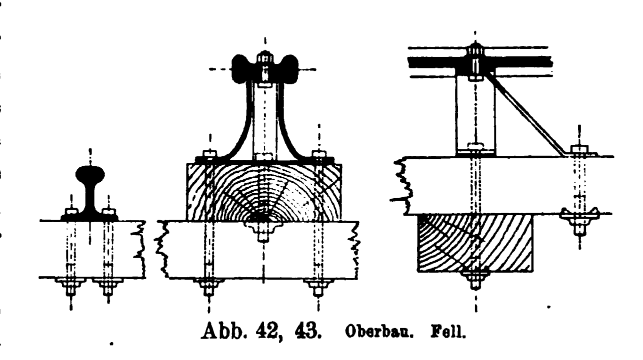
Die Entdeckung, daß schon die natürliche Reibung zwischen Rad und Laufschiene die Fortbewegung großer Lasten auf wenig geneigten Bahnen gestatte, wurde durch den Betrieb voll bestätigt. Allein rasch stellte sich das Bedürfnis ein, Bahnen nicht nur in der Ebene, sondern auch über Höhenzüge und Berge anzulegen. Dabei aber zeigte sich, daß sehr bald jene Steigungsgrenze erreicht wird, über die hinaus die Beförderung ansehnlicher Lasten nicht mehr mit der erwünschten Sicherheit erfolgen kann. Wohl blieb das Mittel der Vermehrung des Reibungsgewichtes der Lokomotive, aber dabei nahm der Motor zur eigenen Bewegung einen immer größeren Teil der erzeugten Zugkraft in Anspruch, so daß zur Fortschaffung der nützlichen Last verhältnismäßig wenig verblieb. Während sich unter solchen Verhältnissen die überwiegende Mehrzahl der Eisenbahnbauer dazu bequemte, auch im gebirgigen Gelände die bewährte geringe Steigung von ungefähr 25 v. T. beizubehalten und durch Anlage von Tunneln und Kunstbauten aller Art die Berge ganz zu umgehen, oder sie durch künstliche Entwicklung der Bahnlinie allmählich zu überschreiten, kamen andere naturgemäß auf den Gedanken, die Zugkraft der Maschinen künstlich zu erhöhen, um ohne Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit auch stärkere als die üblichen Steigungen anwenden und damit die Kosten der Bahnanlage ermäßigen zu können. Man sagte sich, daß derselbe Erfolg, welcher sich durch gewöhnliche Belastung der Räder ergab, auch durch künstliches Anpressen erreicht werden mußte. Die Gruppe der mit der Ausführung dieses Gedankens beschäftigten Techniker suchte die Lösung mit Hilfe einer dritten, in der Bahnachse gelagerten Schiene und mit liegenden Rädern zu erreichen.

Die ersten dahin zielenden Patente wurden schon 1830 an Vignoles und Ericson erteilt, dann 1840 dem Ingenieur Pinkus in England, 1843 dem Franzosen Séguier, und um die gleiche Zeit auch einem Österreicher mit Namen Leiterberger. Im Jahre 1847 veröffentlichte George Scott-Sellers in Cincinnati die Beschreibung einer Einrichtung für den Betrieb steiler Bahnen. Nach derselben sollte seine Lokomotive mit den Triebrädern der gewöhnlichen Maschinen und dem zu deren Bewegung dienenden Dampfzylinderpaar ausgerüstet werden, außerdem aber mit einem anderen Zylinderpaare zum Antriebe liegender Räder, die künstlich an eine in der Bahnachse verlegte Mittelschiene angepreßt werden sollten. Der nachmalige Direktor der Egestorffschen Maschinenfabrik in Linden, C. Krauß, beschrieb 1851 eine Lokomotive mit wagerechten Triebrädern, deren seitliche Pressung durch den Zugwiderstand selbst geregelt werden sollte. Hierzu fertigte einige Jahre später Miani, Werkführer der Maschinenfabrik der damaligen k. k. Staatseisenbahnen in Mailand, ein Modell an, eine wirkliche Ausführung aber brachte erst das Jahr 1863.

Frankreich und Italien hatten sich zum Bau einer Verbindungsbahn durch den Mont Cenis entschlossen. Für den Bau des 9 km langen Tunnels war eine Bauzeit von acht Jahren in Aussicht genommen. Schon seit der Regierungszeit

Napoleons I. führte über den Berg vom französischen Ort St. Michel bis zum italienischen Susa eine 9 m breite, vorzüglich angelegte Fahrstraße. Um schon während des Baues eine Bahnverbindung zwischen beiden Endpunkten herzustellen, bildete sich in England eine Gesellschaft. Auf der 77 km langen Straße mit Größtsteigungen von 88 v. T. sollte die Bahn angelegt und unter Verwendung der neuerdings von John Barraclough Fell in Vorschlag gebrachten Einrichtung mit Mittelschiene betrieben werden. Unter Mitwirkung der London and North-Western-Eisenbahngesellschaft wurde in England, in Derbyshire, auf der Cromfard-High-Peak-Eisenbahn ein Probestück von 730 m Länge ausgeführt unter ganz ähnlichen Verhältnissen, wie sie die Mont Cenis-Straße darbot. Die Spurweite war 110 cm, die stärkste Steigung 83 v. T. Obgleich die Proben ganz befriedigend ausfielen, verlangten die Regierungen dennoch vor Erteilung der endgültigen Genehmigung, daß auch an Ort und Stelle auf einem längeren Versuchsstücke Proben angestellt würden.

So wurde denn im Jahre 1865 auf einer der schwierigsten Stellen bei Lansebourg ein 2 km langes Stück Bahn angelegt. Von der 9 m breiten Straße wurden 3,5 m für den Bahnkörper in Anspruch genommen und zwar jeweils der auf der Abhangsseite gelegene Streifen. Damit war zwar erreicht, daß die Bahn vom Schnee weniger zu leiden hatte, aber auch, daß an jeder Biegung der im Zickzack ausgeführten Straße zahlreiche kostspielige Übergänge geschaffen werden mußten, die wegen der erhöhten Mittelschiene (siehe Abb. 42 und 43) ziemlich umständliche Maßnahmen nötig machten. Die Spurweite war, wie auf der englichen Probebahn, 110 cm. Die Schwellen waren aus Holz, die Laufschienen wie die doppelköpfige Mittelschiene, aus Stahl hergestellt, im Gewicht von 37,2 kg/m. Über den Querschwellen lag eine hölzerne Langschwelle; eiserne Stühle, in Abständen von etwa 1 m in den Geraden, von etwa 60 cm in den Bogen trugen die Mittelschiene. Die Stöße der letzteren wie der Laufschiene waren durch Laschen aus Flacheisen überdeckt.


Abb. 42, 43. Oberbau. Fell.

Die erste Lokomotive war eine Tendermaschine mit zwei gekuppelten Achsen mit einem Dienstgewicht von 15 Tonnen. Ein gewöhnlicher Röhrenkessel von 39 qm Heizfläche mit acht Atmosphären Druck lieferte den Dampf zu zwei äußeren Zylindern, welche die gewöhnlichen Achsen in Bewegung setzten und zu zwei innern, welche die vier paarweise gekuppelten, wagerecht gelagerten Triebräder drehten. Diese letzteren wurden durch Spiralfedern für die Dauer der Fahrt an die Mittelschiene angepreßt. Die erste Betriebszeit gab zu einer Reihe von Aussetzungen Anlaß. Der Kessel lieferte zu wenig Dampf; die verschiedenen geschmierten Flächen des Triebwerkes ließen Öl auf die Mittelschiene fallen, wodurch die Reibung bedeutend herabgedrückt wurde. Zudem fand man die Lokomotive zu wenig einfach und die bewegten Teile schwer zugänglich.

Bald wurde an den Bau einer zweiten Maschine gegangen. Diese erhielt ein Dienstgewicht von 17 Tonnen, eine Heizfläche von 56 qm bei acht Atmosphären

Dampfspannung. Ein einziges Zylinderpaar bewegte die gewöhnlichen, wie die liegenden Räder, und zwar erfolgte der Antrieb der letzteren unmittelbar mittels Schubstange vom Kreuzkopf aus. Zur Bewegung der gewöhnlichen Triebräder war dagegen die Kolbenstange rückwärts verlängert und ebenfalls mit einem Kreuzkopf versehen, von welchem eine zweite Schubstange zu einer Zwischenachse führte. Von dieser aus erfolgte endlich mittels einarmigen Hebels und Schubstange die Drehung der Räder. Nachdem einige Teile gleich anfangs verstärkt wurden, schien die Maschine ordentlich zu arbeiten. Sie leistete mehr wie ihre Vorgängerin. Immerhin machte sich die durch die ungleiche Arbeit bedingte verschiedenartige Abnutzung der Radumfänge bald ernstlich fühlbar. Durch die immer größer werdenden Unterschiede der Radumfänge entstand ein Schleifen der Triebräder, ungleiches Arbeiten und dadurch Zerren und Stoßen im Triebwerk, was nachteilig auf alle Teile wirkte.

Im allgemeinen wurden die vier liegenden Räder mit einem Drucke, ungefähr gleich dem Maschinengewichte, an die Mittelschiene gepreßt, so daß die Lokomotive mit einer Reibungsbelastung gleich ihrem zweifachen Dienstgewicht arbeitete. Unter diesen Verhältnissen wurde es möglich, auf der 83 v. T. betragenden Steigung einen Wagenzug, ebenso schwer wie die Lokomotive, mit einer Geschwindigkeit von 3,5 bis 4,5 m in der Sekunde, oder also von 12 bis 16 km in der Stunde fortzuschaffen; bei geringerer Geschwindigkeit auch Lasten bis 25 Tonnen. Diese Ergebnisse genügten endlich, um die beteiligten Regierungen über die Ausführbarkeit und Sicherheit der neuen Betriebsweise zu beruhigen. Die Genehmigung erfolgte und am 15. Juni 1868 konnte die ganze 77 km lange Mont Cenis-Bergbahn dem Betriebe übergeben werden.

Die Probefahrten hatten in der ganzen technischen Welt berechtigtes Aufsehen gemacht, französische, italienische und englische Abgesandte wohnten denselben bei und erstatteten an ihre Regierungen ausführliche Berichte.

Der höchste Punkt der Bahn, St. Michel, war 2126 m ü. M. nahe der Grenze. Er wurde vom westlichen, 735 m ü. M. gelegenen Ausgangspunkte in 5 Stunden erreicht, bei einer Entfernung von 50 km. Viel schroffer dagegen ist der Südabhang des Berges. Der ganze Höhenunterschied 1586 m von der Wasserscheide bis Susa, 540 m ü. M., verteilt sich auf eine Länge von nur 27 km, so daß fast durchgehend das Größtgefälle von 83 v. T. erforderlich war. Die Mittelschiene wurde erst in Steigungungen von 50 v. T. zu Hilfe genommen unter Anwendung kleinster Bogenhalbmesser von 40 m. Um den Betrieb gegen Schneefall und Lawinengefahr sicherzustellen, mußten im ganzen auf 12 km Länge mehr oder weniger tunnelartige Schutzbauten über dem Bahnkörper ausgeführt werden, was für die Reisenden nicht selten große Belästigung durch Rauch und Wärme zur Folge hatte. Wo Bahn und Straße sich kreuzten, waren besondere Einrichtungen getroffen, um die Mittelschiene nach Durchgang des Zuges durch Hebelbewegung umklappen und in eine kanalartige Vertiefung versenken zu können. Durch Anwendung von Gegengewichten war diese Verstellung ziemlich leicht durchführbar und ergab in der Handhabung keine Schwierigkeiten.

Personenwagen wie auch Güterwagen waren zweiachsig, besaßen aber noch je ein Paar Leiträder für die Mittelschiene. Je nach der Wagenklasse enthielten die Wagen 12 bis 16 Sitzplätze, sie hatten ein Eigengewicht von 3,4 Tonnen, die Güterwagen ein solches von 2,2 Tonnen, bei einer Tragfähigkeit von 5 Tonnen.



Später wurden auch dreiachsige Personenwagen verwendet, die 5,5 Tonnen wogen und 24 Personen fassen konnten.

Bei der Talfahrt kam an der Lokomotive sowohl, wie an den Wagen außer der gewöhnlichen Bremse noch eine besondere Backenbremse zur Anwendung, welche an die Mittelschiene gepreßt werden konnte.

Im Laufe des Betriebes wurden von Gouin & Cie. in Paris 12 weitere, ebenfalls zweizylindrige Maschinen angeschafft. Sie wogen leer 18,8, im Dienste 22 Tonnen und hatten 62 qm Heizfläche. Die acht Triebräder hatten 711 mm Durchmesser im neuen Zustande, der Radstand war 2280 mm, der Abstand der liegenden Räder 730 mm.

Das Anlagekapital war für die 77 km lange Bahn auf 8 000 000 frs., also für 1 km auf 104 000 frs. veranschlagt.

Die Reisenden zahlten in

I. Wagenklasse	27 frs.	d. h.	frs. 0,356	für	1 km,
II. „	18 „	d. h.	„ 0,175	„	1 km.

Die Tonne Eilgut kostete 77 frs., also 1 fr. für 1 km, gewöhnliche Fracht 20 bis 40 frs.

Im Jahre 1869 betrugen die Betriebskosten

für Bahnerhaltung	frs.	1,00
„ Zugförderung	„	3,40
„ Übriges	„	0,75
Zusammen	frs.	5,15 für 1 Zugkilometer.

Da die Betriebseröffnung erst im Juni 1868 stattfand, der Mont Cenis-Tunnel aber schon im September 1871 dem Betriebe übergeben wurde, mit welchem Zeitpunkte die Genehmigung für die Aushilfsbahn erlosch, konnte von glänzenden Geschäften nicht die Rede sein, um so weniger, als von den zur Beförderung über den Berg vorhandenen Gütern ein Teil durch gewöhnliche Fuhrwerke fortgeschafft wurde. Immerhin war der Betrieb ein regelmäßiger, von ungewöhnlichen Ereignissen verschonter. Durchschnittlich wurden täglich drei Züge nach jeder Richtung abgelassen und die Post regelmäßig befördert.

Trotz alledem wollte man dem System die Berechtigung eines Beförderungsmittels für größere Bahnen nicht zuerkennen. Es wurden Bedenken erhoben, die gewöhnlichen Fahrzeuge auf die stark erhöhte Mittelschiene übergehen zu lassen; ein zweimaliges Umladen aber wurde als zu umständlich, zeitraubend und kostspielig und nicht zulässig erklärt, so daß man bei vielen schwebenden Entwürfen, welche bereits diese Bauart in Aussicht genommen hatten, endgültig zu dem Schlusse gelangte, daß eine Steigung von 25 v. T. und der alte Reibungsbetrieb gegenüber dem Fellschen immer noch den Vorzug verdiene. Nicht zu bestreiten war, daß durch die große seitliche Pressung der liegenden Räder schädliche Einflüsse auf die Reibungsverhältnisse der gewöhnlichen Triebräder ausgeübt wurden. Dazu gesellte sich die dem Reibungsbetriebe überhaupt eigene Abhängigkeit von den Witterungsverhältnissen, während anderseits die Bauart die denkbar größte Sicherheit gegen Entgleisung bot und auch in ihrer Anlage die Kosten der Zahnstangenbahn nicht erreichte. Wenn, wie gesagt, von den anfänglich mit aller Lebhaftigkeit betriebenen Entwürfen in Europa schließlich doch keiner zur Ausführung gelangte, so hatte Fell wenigstens

die Befriedigung, schon 1870 eine zweite Anwendung seiner Bauart für eine Bahn in Brasilien zu finden. Dieselbe beginnt in Canta Gallo, dem Bahnhofe der Eisen-

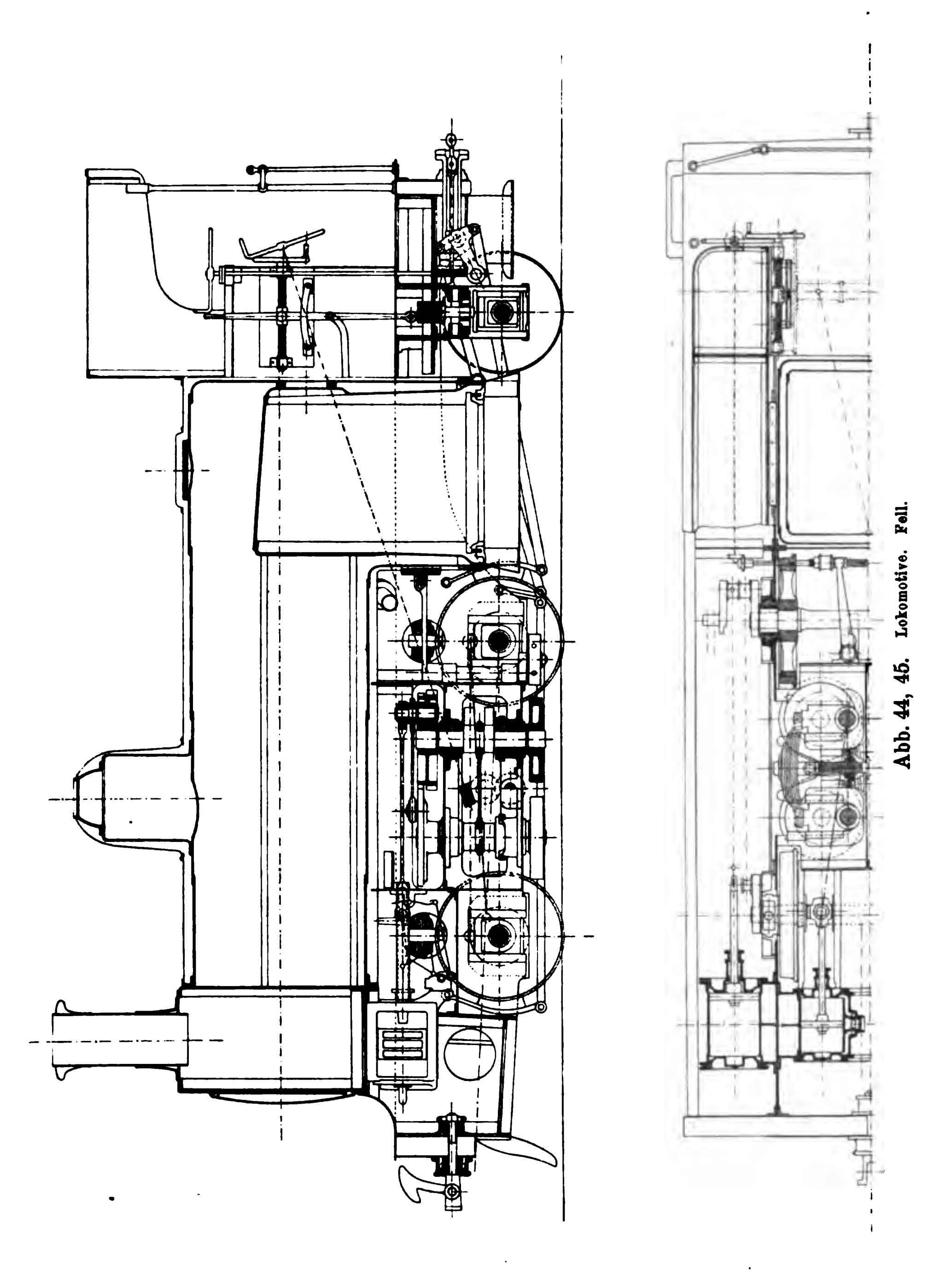


Abb. 44, 45. Lokomotive. Fell.

bahn gleichen Namens. Sie hat eine Länge von 32 km, eine Spurweite von 110 cm, schärfste Bogen von 40 m Halbmesser und größte Steigungen von 83 v. T. Die Bahn ist namentlich bestimmt, die Ausbeute großer Kaffeepflanzungen über das da-

zwischen liegende Gebirge dem bestehenden Eisenbahnnetz und damit Rio Janeiro zuzuführen. Der Oberbau war grundsätzlich derselbe wie am Mont Cenis, die Lokomotiven dagegen wieder vierzylindrig mit einem Dienstgewicht von 30 Tonnen. Die beiden wagerechten Räderpaare konnten mit einem Drucke bis 40 Tonnen an die Mittelschiene angepreßt werden. Angetrieben wurden sie von zwei lotrecht übereinander, unter der Rauchkammer angebrachten Dampfzylindern. Ein gewöhnlicher Röhrenkessel von 72 qm Heizfläche lieferte für alle vier Zylinder den nötigen Dampf. Die erste dieser Lokomotiven wurde 1872 vollendet. Bei den Probefahrten ergab sie eine Zugkraft von rund 7 Tonnen.

Einer dritten Anwendung der Bauart Fells begegnen wir im Jahre 1880 in Neu-Seeland, Australien, zur Überschreitung des Rimutaka, auf der Verbindung von Wellington mit Featherston. Durch Zuhilfenahme eines Gefälles von 67 v. T. und der Mittelschiene gelang es Oberingenieur John Carruthers eine Linie zu finden, welche den besonders schwierigen Abstieg mit einer Länge von nur 4 km ermöglichte und im Vergleich mit einer gewöhnlichen Reibungsbahn eine Ersparnis von rund 2 Millionen Mark erlaubte.

Die Spurweite beträgt 1067 mm. Die engsten Bogen haben 65 m Halbmesser. Der Betrieb wird mit vier Fell'schen Lokomotiven besorgt (siehe Abb. 44 und 45). Dieselben besitzen vier Dampfzylinder, 72 qm Heizfläche und ein Dienstgewicht von 36 Tonnen. Jede Maschine ist imstande, außer ihrem eigenen Gewicht noch einen Zug von durchschnittlich 60 Tonnen über die Rampe zu befördern, damit auf den stärksten Steigungen anzuhalten und wieder anzufahren. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt 10 km in der Stunde. Es werden aber auch Züge mit zwei und drei Lokomotiven befördert. In diesen Fällen werden die Maschinen derart im Zuge verteilt, daß der Lokomotive an der Spitze des Zuges ungefähr 30, der mittleren 40, der hintersten wiederum ungefähr 30 Tonnen Wagengewicht zum Ziehen zufallen. Nach beiden Richtungen zusammen müssen im Jahre rund 45000 Tonnen Güter über diese Steilrampe befördert werden.

Hauptverhältnisse der Lokomotiven der Bahn von Wellington nach Featherston.

Dampfdruck	11	atm.
Heizfläche der Feuerbüchse	6,7	qm
„ „ Siederohre	70,3	„
„ im ganzen	77,0	„
Länge der Siederohre	3000	mm
Durchmesser der äußeren Zylinder	350	„
Kolbenhub	400	„
Triebraddurchmesser	800	„
Laufraddurchmesser	750	„
Fester Radstand	2055	„
Gesamter Radstand	4330	„
Durchmesser der inneren Zylinder	300	„
Kolbenhub	350	„
Triebraddurchmesser	550	„
Radstand	690	„

Maschinengewicht, leer	27 200 kg
Speisewasser	2 800 „
Kohlen	1 300 „
Dienstgewicht	36 000 „
Reibungsgewicht	26 250 „
Größte Zugkraft	8 500 „

Im Jahre 1896 endlich wurde in Nordengland, von Laxey auf den Sneafell eine neueste Bahn nach Fells Bauart begonnen und im folgenden Jahre vollendet. Auch sie hat eine Spurweite von 1067 mm, ihre größte Steigung beträgt 83 v. T. und ihre Länge 7,7 km. Der Betrieb der dem Personenverkehr dienenden Bahn erfolgt mittels Elektrizität.

Zweiter Abschnitt.

Theoretische und praktische Untersuchungen.

§ 4. Berechtigung und Nutzen der Steilbahnen.

Die Anlage von Steilbahnen wird nur in Betracht kommen, wo es sich um Überwindung von bedeutenden Höhenunterschieden handelt. Wird in einem solchen Falle an Stelle der üblichen Steigung eine sehr starke gewählt, so ist damit eine Abkürzung des Weges erreicht; das bedarf keines Beweises. Die kürzeste Verbindung wäre die Gerade zwischen den beiden Endpunkten. Diese ergibt jedoch in den meisten Fällen eine zu hohe Steigung; sie kann aber immerhin für besondere Zwecke, z. B. für Seilbahnen, Anwendung finden. Je mehr in diesem Falle die Steigung vermindert wird, desto größer wird die Länge der Bahn. Jede Übertreibung der Bahnlänge verursacht drei anhaltende Verluste, nämlich durch die

1. Zinsen des Baukapitals für die Mehrlänge,
2. Unterhaltungskosten für diese,
3. Kosten für Zeit und Kraft zur Befahrung der Mehrlänge.

Für eine gegebene Gegend wird die Anlage einer Bahn, auf die Längeneinheit bezogen, ungefähr dasselbe kosten, mag die Steigung etwas kleiner oder größer sein. Doch darf immerhin betont werden, daß im allgemeinen die größere Steigung die kleineren Anlagekosten zur Folge hat, weil sie ein weitgehendes Anpassen der Bahnlinie an den natürlichen Boden, damit also das teilweise oder gänzliche Umgehen besonders kostspieliger Baustellen ermöglicht.

Die Behauptung ist also durchaus zulässig, daß bei Überwindung bedeutender Höhenunterschiede die Längeneinheit einer Bahn, soweit es den gewöhnlichen Bau betrifft, durch die Wahl einer stärkeren Steigung eher billiger denn teurer wird. Da aber durch stärkere Steigungen unmittelbar eine kürzere Linie sich ergibt, so steht fest, daß die Steilbahn die geringsten Baukosten erfordert. Wo aber das Kapital nicht ausgegeben wurde, da sind auch die Zinsen dafür schon bezahlt.

Ganz ähnlich wie mit dem Baue verhält es sich in dieser Hinsicht mit der Unterhaltung der Bahn. Warum sollten die Unterhaltungskosten der steileren Bahn größer sein, als jene einer weniger steilen? Wenn aber die erstere nur ein Drittel oder die Hälfte der letzteren mißt, so stehen auch die Unterhaltungskosten im gleichen Verhältnisse.

Aber auch die zum Durchfahren einer Bahnstrecke benötigte Kraft und Zeit stellen sich für die kürzere Linie günstiger als für die längere. Auf den ersten Blick mögen sich dagegen Bedenken erheben, bei näherer Erwägung aber müssen dieselben verschwinden. Die Bewegung einer Last begegnet nämlich zweierlei Widerständen, solchen, die unabhängig von der Steigung der Bahn und mechanischer

Natur sind, herrührend von den reibenden Teilen der Lokomotive und Wagen in Krümmungen, vom Winde usw., außerdem solchen, die von der Schwere abhängen. Die letzteren müssen überwunden werden, um die Last, d. h. den Zug, von einer Stelle auf eine höher gelegene zu heben. Daran ändert der kürzere oder längere Weg in keiner Weise etwas, weder zu Gunsten noch zu Ungunsten. Ganz anders verhält es sich mit den ersteren, den gewöhnlichen Reibungswiderständen, welche proportional der Länge sind. Auf einer Bahn von 10 km Länge mit 25 v. T. Steigung z. B. stellen sich bei Überwindung des gleichen Höhenunterschiedes von 250 m die auf 1 km treffenden Widerstände zehnmal ein, auf einer anderen Linie zwischen denselben Endpunkten, mit 100 v. T. Steigung, dagegen nur 2,5 mal. Daraus folgt, daß zur Überwindung einer bestimmten Höhe die gleiche Last auf der wenig geneigten, aber längeren Bahn einen größeren Arbeitsaufwand erfordert, als auf der steileren, jedoch kürzeren.

Soweit die allgemeinen Betrachtungen. Hier aber ist der Platz, einer Reihe von besonderen Eigenschaften Erwähnung zu tun.

§ 5. Steigungsverhältnisse der Steilbahnen.

Vergleich zwischen Reibungs- und Zahnstangenbahnen. — In Eisenbahnkreisen gilt 25 bis 30 v. T. als jene Steigungsgrenze, bis zu welcher ein sehr starker Verkehr noch bewältigt werden kann. Wenn wir also von stärkeren Steigungen sprechen, so müssen diese jenseits der genannten Grenze liegen. Nun hört aber mit 25 v. T. die Nutzleistung der gewöhnlichen Reibungslokomotive keineswegs auf. Im Kleinverkehr, so insbesondere auf den elektrischen Straßenbahnen, wo das ganze Zuggewicht zur Reibungswirkung herbeigezogen werden kann, kommen Steigungen von 80 bis 90 v. T. sogar häufig vor, und auch solche von 100 und 110 v. T. sind schon angewendet worden. Klima, Länge der Steilrampe, besondere Umstände haben hier ihren Einfluß mehr oder weniger geltend gemacht. Immerhin zeigt die Erfahrung, daß auch für diesen besonderen Betrieb und trotz der Anwendung außergewöhnlicher Bremsmittel die erwähnten Steigungen eine nicht mehr zulässige Grenze nahezu streifen. Aber wir besitzen auch eine Reihe gewöhnlicher Lokomotiveisenbahnen mit ungewöhnlichen Steigungen, welche seit Jahren betrieben werden. Zu den hierher gehörigen bekannteren und oft zum Vergleiche herbeigezogenen gehören unter anderen die vollspurige Vergnügungsbahn von Zürich auf den Ütliberg mit 70 v. T. größter Steigung, ferner die schweizerische Südostbahn, ebenfalls mit voller Spur und 50 v. T. Steigung, sodann die bündtnerische Bahn von Landquart nach Davos, mit 1 m Spurweite und 45 v. T. größter Steigung. Es wäre ungerecht, behaupten zu wollen, daß diese Linien nicht ebenfalls die drei erwähnten Verluste: Zinsen des Kapitals für Mehrlänge, Kosten für die Unterhaltung dieser und Kraft und Zeit um diese zu befahren, vermieden hätten.

Unstreitig gebührt auch ihnen diese Anerkennung, ja noch mehr: sie haben jene Vorteile mit den einfachsten Mitteln erreicht, ohne Mittelschiene, ohne Zahnstange, ohne Lokomotiven besonderer Art. Gleichwohl bleiben diese Bauten Ausnahmen und nur für bestimmte Verhältnisse wirklich empfehlenswert. So beschloß z. B. dieselbe Gesellschaft, welche Landquart-Davos mit 45 v. T. anlegte, für den weiteren Ausbau des bündtnerischen Bahnnetzes einen Größtwert der Steigung von 25 und mit Rücksicht auf einige Gegenden ausnahmsweise einen solchen von 35 v. T. Die Reibung zwischen Schiene und Rad ist eben zu wenig zuverlässig.



Gewiß gibt es Reibungsbahnen mit 40 und 50 v. T. Steigung und ganz befriedigenden Betriebsergebnissen. In den meisten Fällen dieser Art aber handelt es sich um die Beförderung leichter Züge, verbunden mit der Möglichkeit, bei ungünstiger Witterung die Zugbelastung stark zu vermindern, oder den Verkehr zeitweilig auch ganz zu unterbrechen. Immer aber bleiben solche Bahnen eine Halbheit; sie leiden an zu großer Abhängigkeit von den Witterungseinflüssen, ebenso an hohen Betriebskosten, weil trotz der schweren Lokomotiven doch nur leichte Züge befördert werden können, während anderseits die Bahnen mit Zahnstange für die gleiche Leistung bedeutend größere Steigungen, also die erreichbaren Ersparnisse in noch höherem Maße gestatten, ohne gegen Schnee oder Unbilden des Wetters empfindlich zu sein.

Für die Bahn mit Zahnstange kommt nun freilich eine Ausgabe hinzu, welche die gewöhnliche Reibungsbahn nicht kennt, nämlich jene für die Zahnstange und die Zahnradlokomotive.

Je nach der Bauart und der Leistungsfähigkeit ist hierfür eine besondere Ausgabe von rund 20000 bis 30000 Mark für das Kilometer Zahnstange und ungefähr halb soviel für Mehrkosten der zugehörigen Lokomotiven vorzusehen, im ganzen also 30000 bis 40000 Mark pro km. Dieser Summe steht die Ersparnis von ein, zwei bis drei Kilometer Bahnlänge gegenüber, deren Herstellung für die entsprechenden Verhältnisse auf je 200000 bis 500000 Mark zu bewerten sein dürfte.

Auch die Ersparnisse an den Unterhaltungskosten einer Steilbahn mit Zahnstange stellen sich anders wie bei einer gewöhnlichen Lokomotivbahn. Durch das Vorhandensein der Zahnstange wird freilich der ganze Oberbau kräftiger und widerstandsfähiger, dessen Unterhaltung infolgedessen billiger. Immerhin aber erfordert die Wartung der Zahnstange gewisse Ausgaben. Sehr gering sind diese für Nachziehen und Unterhalt der Befestigungsteile; geradezu verschwindend für Unterhaltung und Erneuerung der Zahnstange, indem die Abnutzung der eigentlichen Verzahnung eine so geringe ist, daß erst nach Verfluß von Jahrhunderten eine Auswechslung nötig würde. Dagegen erfordert die Schmierung der Zahnstange einige Auslagen an Zeit und Material, während auf einzelnen Zahnradbahnen, so auf jenen der Staatsbahnen in Bosnien-Herzegowina, gar nicht geschmiert wird. Im allgemeinen dürfte eine Ausgabe von jährlich etwa 100 Mark für das Kilometer in Anschlag zu bringen sein. Dieser Ausgabe steht nun aber wiederum die Ersparnis der sämtlichen gewöhnlichen Unterhaltungskosten für die Länge von 1 bis 3 km gegenüber, also mehr wie die zehnfache Summe.

Mehr ins Gewicht fällt die Unterhaltung der Lokomotiven. Ganz allgemein dürften hier für die Maschine 2000 bis 3000 Mark in einem Jahre mehr ausgegeben werden, als für eine gewöhnliche Reibungsmaschine. Die Anzahl der Lokomotiven wird trotz der kürzeren Zahnradbahn ebenso groß sein, wie für die längere Reibungsbahn, man wird also auch hier für 2 bis 5 km Bahn eine Maschine rechnen dürfen. Die Mehrausgabe an Unterhaltungskosten für die Lokomotiven beträgt demnach für das km Bahn 700 bis 900 Mark; im ganzen also mit Einschluß derjenigen für Wartung der Zahnstange rund 1000 Mark für das km.

Endlich erleidet auch die Ersparnis an Kraft und Zeit eine gewisse Einschränkung. Ein Lokomotive wird bei gleichem Kessel und gleicher Blasrohrwirkung dieselbe Arbeit entwickeln, mag sie Reibungs- oder Zahnradmaschine sein. Der Zahnradbetrieb wird infolge der Zahnreibung etwas hinter dem mit reinen Reibungsmaschinen zurückstehen, sich aber anderseits wieder günstiger stellen, weil

alle gewöhnlichen, nicht unbedeutenden Widerstände, wie ausgeführt worden, auf eine viel kürzere Dauer zu überwinden sind.

Eine 72 Tonnen schwere Lokomotive zieht auf einer Steigung von 25 v. T. außer ihrem eigenen Gewicht noch einen Zug von 175 Tonnen mit 18 km Geschwindigkeit, sie überwindet dabei einen Widerstand von rund

7900 kg

und verrichtet eine Arbeit von 527 P. S.

Als vereinigte Reibungs- und Zahnradlokomotive zieht sie mit Hilfe des Zahnrades denselben Zug über die Steigung von 50 v. T. mit 10 km Geschwindigkeit, überwindet also einen Widerstand von

14 000 kg

und leistet eine Arbeit von 520 P. S. und dazu eine verlorene Arbeit von ungefähr 2 v. H., welche auf Zahnreibung verwendet wird.

Handelt es sich also um die Überwindung eines Höhenunterschiedes von 450 m, dann beansprucht die Reibungsmaschine hierzu genau eine Stunde Zeit, die vereinigte Reibungs- und Zahnradmaschine 54 Minuten, während die beförderte Last in beiden Fällen dieselbe ist.

Winterbetrieb.

Der Einfluß von Eis und Schnee auf den Zahnstangenbetrieb hat während langer Zeit zu vielen Bedenken Anlaß gegeben. Schon die ersten Betriebsjahre aber haben dargetan, daß ein Anlaß zu Befürchtungen nicht vorhanden ist. Die Gründe dafür liegen nahe. Soweit es sich um vereinigten Reibungs- und Zahnradbetrieb handelt, kommt wenigstens bei getrennten Triebwerken für Zahnrad und Reibungstriebrad in Betracht, daß diese Lokomotiven in erster Linie gewöhnliche und zwar sehr kräftige Reibungsmaschinen sind, daher mindestens ebenso gute Ergebnisse liefern müssen, wie die reinen, immer leichteren Reibungsmaschinen an gleicher Stelle. Wenn aber letztere infolge zu dicker Schneeschichten, oder Vereisung der Schienen an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit angelangt, nicht mehr weiter, ja in solchen Verhältnissen häufig auch nicht mehr rückwärts fahren können, kommt bei den Zahnradlokomotiven die Wirkung des Zahnrades gerade zur vollen Geltung. Zahn um Zahn gräbt sich das Rad in die entsprechenden Lücken der Zahnstange ein und drängt dadurch den ganzen Zug vorwärts.

Von den im Betriebe stehenden Zahnstangenformen möchte die Leiterstange zuerst sich mit Schnee und Eis derart verstopfen, daß auch für sie eine Betriebsstörung denkbar wäre. Sind aber die Witterungsverhältnisse einmal so außerordentlich ungünstige, dann ist das gewöhnliche Gleis längst unfahrbar geworden. Tatsächlich wird denn auch bei allen außergewöhnlichen Schneefällen festgestellt, daß die Zahnradbahnen im Gebirge den Betrieb aufrecht erhalten konnten, während die Reibungsbahnen im Tale ihn einstellen mußten. Daß aber auch die Zahnstange nicht durch tief zugewehte Einschnitte, durch haushohe, Stämme und Steinblöcke führende Lawinen durchhelfen kann, ist klar.

§ 6. Zugkraft, Zugbelastung, Zugwiderstände der Steilbahnen.

Die Vorschriften über die zulässige Größe der nützlichen Zugkraft für gewöhnliche Bahnen waren noch vor wenigen Jahren ziemlich eng begrenzt. Häufige Brüche der Kuppelungsteile einerseits und das Bedürfnis nach schwereren Zügen



anderseits haben wesentliche Änderungen herbeigeführt. Die Untergestelle als solche wurden für neue Wagen fast ausnahmslos aus Eisen oder Stahl und sehr kräftig hergestellt, namentlich aber wurden die Abmessungen der Puffer und Zughaken erhöht und außerdem eine Notkuppelung beigegeben. Auf diese Weise wurde erreicht, daß heute die Zugbelastungen, entsprechend einer Inanspruchnahme der Zughaken von 7500 kg, für einzelne Gebirgsbahnen bei neuen Wagen bis 10 000 kg bemessen werden dürfen.

Für Bahnen mit Zahnradbetrieb können diese Bestimmungen in einem Sinne nicht voll ausgenützt, in anderem Sinne aber sogar überschritten werden. Nicht voll ausgenützt wird die zulässige Inanspruchnahme der Zughaken aus Gründen der Sicherheit. Bricht die Kuppelung zwischen zwei Fahrzeugen, so ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß auch die vorhandene Notkuppelung nicht Stand hält. Eine Zugtrennung ist dann unvermeidlich. Tritt diese in Bahnhöfen und an wenig geneigten Stellen ein, so ist gewöhnlich gar keine Gefahr vorhanden; erfolgt sie aber auf der üblichen Größsteigung von 25 v. T. der Reibungsbahnen, so ist die Sache schon bedenklicher, doch wird durch die im abgetrennten Zugteile vorhandenen Bremsen ein ernster Unfall meistens vermieden. Anders verhält es sich auf den weit steileren Zahnstrecken. Um hier die Gefahr der Zugtrennung überhaupt zu vermeiden, werden die Züge überall da, wo es sich um normale Wagen und Kuppelungen handelt, gar nicht gezogen, sondern geschoben. Das unterste Fahrzeug eines jeden Zuges ist also stets die Lokomotive, bei der Talfahrt wie bei der Bergfahrt. An Stelle der Zughaken übertragen die Puffer die Schubkraft der Maschine auf den Zug. Nicht nur ist es leichter, sehr kräftige Puffer statt Haken herzustellen, sondern es kommt dieser Betriebsweise auch der günstige Umstand zu gute, daß selbst der Bruch einer Pufferfeder, ja selbst einer Pufferstange oder Hülse keine unmittelbare Gefahr für den Zug bedeutet. Unbegrenzt ist die zulässige Zugkraft gleichwohl nicht. Um einer Anstrengung widerstehen zu können, wie sie dem der Lokomotive zunächst befindlichen Wagen auf solchen Strecken zufällt, bedarf es schon eines recht kräftigen Untergestelles und auch einer gewissen Belastung der Achsen. Läßt das erstere zu wünschen übrig, könnten Formänderungen und bedenkliche Beschädigungen eintreten, sind die Achsen nur sehr wenig belastet, so ist bei allfälligen Geschwindigkeitsänderungen ein Heben des betreffenden Wagens und damit sein Entgleisen nahegerückt, eine Erscheinung, die nicht selten selbst auf wagerechter Bahn beim Verschieben oder bei zu raschem Anhalten in den Bahnhöfen beobachtet werden kann. Es wurden daher bei den bisher ausgeführten Zahnradbahnen, über welche die Wagen der großen Bahnen gewöhnlicher Art verkehren, 10 000 kg als zulässige Inanspruchnahme betrachtet. Auf der Linie Tiszolcz-Zolyombrezo beträgt beispielsweise die gewöhnliche Zugbelastung 175 Tonnen, die auf der Steigung von 50 v. T. einen Widerstand von ungefähr 10 000 kg verursacht, während probeweise freilich schon Züge von 192 Tonnen befördert wurden, welche eine Schubkraft von etwa 11 Tonnen erforderten.

Anders gestalten sich die Verhältnisse für Bahnen, welche keine Rücksicht auf schon bestehende Fahrzeuge und deren Bauart zu nehmen haben, welche Spur immer diese auch aufweisen mögen. Da augenscheinlich die Widerstände beim geschobenen Wagenzuge größer ausfallen als für den gezogenen, wird es immer vorteilhafter sein, längere Züge zu ziehen. Dies darf auch geschehen, wenn die Zugvorrichtungen von vornherein genügend stark hergestellt werden können, so daß nach

menschlicher Voraussicht eine Zugtrennung nicht zu befürchten steht und wenn außerdem Bremsen vorhanden sind, die im Falle einer Zugtrennung selbsttätig sicher in Wirksamkeit treten und einen Unfall verhüten. Unter Wahrung dieser Grundsätze werden auf einer Reihe von außergewöhnlichen Zahnradbahnen die Züge gezogen, so auf Visp-Zermatt mit 125 v. T., Brünigbahn mit 120 v. T., Beirut-Damaskus mit 70 v. T. Steigung u. a. m. Das Ziehen der Züge hat aber auch den großen Vorteil, daß auf den vorkommenden reinen Reibungsstrecken ohne Umstellen der Maschine rasch gefahren werden kann.

Die Vergnügungsbahnen, meistens reine Zahnradbahnen, weisen durchweg sehr starke Steigungen, 150 bis 480 v. T., auf. Unter diesen Verhältnissen wird für den Wagenzug als nützliche Zugkraft nur wenig verbleiben, gerade ausreichend zur Beförderung von einem, höchens zwei Wagen, deren Widerstände für Schieben oder Ziehen nahezu gleich ausfallen, zudem ist die Geschwindigkeit auf diesen Bahnen eine ganz geringe, nämlich 4 bis 8 km. Es findet daher hier ausnahmslos Schieben statt. Nicht selten bilden Maschine und Wagen ohnehin ein Ganzes, wie auf der Pilatusbahn und der Gornergratbahn, wobei der Motor sich ebenfalls talwärts befindet.

Wird ein Zug geschoben, dann fällt dem auf der obersten Plattform stehenden Schaffner die besondere Aufgabe zu, die Bahn zu überwachen und dem am unteren Ende des Zuges befindlichen Lokomotivführer rechtzeitig anzuzeigen, wenn aus irgend einem Grunde ein langsameres Fahren oder gänzliches Anhalten des Zuges angezeigt ist. Zu diesem Behufe wird auf den meisten Bahnen dieser Art zum alten Hilfsmittel, der Zugleine, gegriffen. Diese wird über das Dach der Wagen bis zum Führerstande gspannt und dort mit der Dampfpfeife verbunden, so daß der Schaffner geradeso wie der Lokomotivführer imstande ist, alle ihm nötig scheinenden Signale zu geben.

Zugbelastung.

Die gewöhnlichen Vergnügungsbahnen zeigen ziemliche Übereinstimmung sowohl im Gewicht der Lokomotiven, wie des gesamten Zuges und damit im Zahndrucke. Es beträgt der letztere rund 6000 kg, das Maschinengewicht 16 000 kg mit Abweichungen von rund 10 v. H. nach oben und unten. Dementsprechend bestehen die Züge für gewöhnlich aus:

1 Wagen mit höchstens 60 Personen auf 250 v. T.
2 „ „ „ 100 „ „ 200 „
3 „ „ „ 150 „ „ 150 „

Auf Steigungen von weniger als 150 v. T. wird meistens der vereinigte Reibungs- und Zahnradbetrieb angewendet und zwar auch bei schmaler Spur für Züge, deren Beförderung samt Lokomotive bis 10 000 kg Zugkraft erfordert. Im allgemeinen ist dabei der Grundsatz beobachtet, daß die größte Steigung auf der Reibungsstrecke etwa $^1/_3$ bis $^1/_4$ der größten Zahnstangensteigung beträgt. Weit auseinander gehen hier die Zuggewichte, die selbstverständlich von der Steigung abhängig sind.

Auf gewöhnlichen Bahnen endlich begegnen wir Gesamtzugkräften bis zu 15 000 kg, wovon, wie schon oben angedeutet, 10 000, selbst 11 000 kg auf Fortbewegung des eigentlichen Wagenzuges entfallen. Es entspricht das einem größten zulässigen Zuggewicht, ohne Maschine, von rund:



230 Tonnen auf 40 v. T. Steigung
190 „ „ 50 „ „
160 „ „ 60 „ „
140 „ „ 70 „ „

stets die Zugbeförderung durch eine Lokomotive vorausgesetzt.

Doppelbespannung.

Nun ist aber die einst gefürchtete, heute aber überall eingeführte Doppelbespannung der Züge auch für den Zahnradbetrieb durchaus zulässig und auf den bosnisch-herzegowinischen Staatsbahnen seit Jahren in regelmäßigen Gebrauch. Dadurch kann selbstverständlich die Zugbelastung noch wesentlich gesteigert werden.

Ebenso zulässig und zweckentsprechend, für die Linie Boppard-Castellaun, der preußischen Staatsbahnen, auch in Aussicht genommen, ist die gleichzeitige Verwendung einer reinen Reibungslokomotive mit einer vereinigten Reibungs- und Zahnradmaschine zur Beförderung sehr schwerer Züge. Diese Betriebsweise wird sich namentlich dort empfehlen, wo Züge auf weiteren Strecken von der gewöhnlichen Maschine hergeschafft und von einer ebensolchen, nach Überwindung der Zahnstangenstrecke, wieder weiter geschafft werden müssen. In allen solchen Fällen empfiehlt es sich, die Reibungmaschine auf der Zahnstangenstrecke an der Spitze des Zuges zu belassen, zur Nachhilfe aber auf der Zahnstange an das Zugende eine Zahnradmaschine beizugeben. Für die Talfahrt kann dann die letztere zwischen Reibungsmaschine und Wagenzug eingestellt werden.

Allein auch ohne Doppelbespannung wird es möglich, außergewöhnlich schwere Züge zu Tal zu befördern, sobald die Wagen mit zuverlässigen und durchgehenden Bremsen ausgeführt sind. Diese Möglichkeit kann namentlich dort sehr willkommen sein, wo der talwärts gerichtete Verkehr bedeutet stärker ist, als der bergwärts gehende, wie solches auf der Linie Eisenerz-Vordernberg, von Erzberg nach Vordernberg hinunter, tatsächlich eintritt. Seitdem die dortigen Erzwagen mit Bremsen entsprechend ausgerüstet sind, werden auch auf dem 70 v. T. betragenden Gefälle Züge von 200 Tonnen heruntergelassen. Der Schub dieser 200 Tonnen wird in der Geraden auch bei gleichmäßiger Fahrt bis zu 13600 kg betragen, also erheblich mehr als oben für zulässig erklärt worden ist. Allein wenn durch die Bremsen auch nur ein Widerstand gleich $^1/_{20}$ des Wagengewichtes erzeugt wird, so bleibt als eigentliche Schubkraft des untersten Wagens auf die Maschine bloß mehr ein Betrag von 3600 kg, also eine sehr bescheidene Inanspruchnahme. Gute Bremsvorrichtungen aber gestatten ohne Anstand einen erheblich größeren Bremswiderstand zu erzeugen.

Zugwiderstände.

Über die Berechnung der Zugwiderstände besteht eine reiche Literatur. Insbesondere über die Zahnradlokomotiven der Harzbahn hat Professor Frank lehrreiche Versuche angestellt und in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure vom Jahre 1887 veröffentlicht.

Im allgemeinen und für die praktischen Verhältnisse des Betriebes genügen die einfachsten Formeln, welche Mittelwerte geben. Denn wenn es schon schwer hält, für ein bestimmtes Fahrzeug eine richtige Formel aufzustellen, so wird die Aufgabe noch viel schwieriger, wenn es sich um Berücksichtigung aller in Betracht kommenden

Umstände handelt. Selbst auf gerader, wagerechter Bahn sind die Widerstände ein und desselben Wagens im neuen und ausgelaufenen Zustande, bei guter und ungenügender Schmierung ganz verschieden. In den Krümmungen aber werden sich vier-, drei- und zweiachsige Wagen, schon wegen ihrer Anordnung allein, ganz verschiedenartig einstellen. Ebenso übt der jeweilige Zustand der Wagen, der Grad der Abnutzung der Radreifen und der Lagerschalen, die Achsführung, der Achsstand, nicht zum mindesten die Spurerweiterung, Schienenüberhöhung, auch der Zustand der Schienen selber, wesentlichen Einfluß auf die Größe des Widerstandes aus. Im allgemeinen wird man sich für praktische Zwecke der Wirklichkeit genügend nähern durch Annahme der Widerstände für die Wagen auf gerader Bahn:

bei 2 und 3 Achsen zu 4 kg für 1 Tonne Gewicht,
„ 4 „ „ 3 „ „ 1 „ „ ;

in Bogen von nicht ungewöhnlich kleinen Halbmessern:

für die ersteren zu 6 kg,
„ „ letzteren „ 4 „.

Für die Lokomotiven, vom Zahngetriebe abgesehen, empfiehlt es sich, folgende Widerstände in Rechnung zu ziehen:

Für zweiachsige Maschinen oder solche mit zwei festen Achsen und einer beweglichen Achse in der Geraden:

6 kg für 1 Tonne Gewicht,

in nicht zu engen Bogen:

10 kg für 1 Tonne Gewicht,

für Maschinen mit drei und vier gekuppelten Achsen in der Geraden:

10 bis 12 kg für 1 Tonne Gewicht,

in nicht ungewöhnlich engen Bogen dagegen

12 bis 16 kg für 1 Tonne Gewicht.

Hierzu kommen alsdann die Reibungswiderstände des Zahngetriebes.

Dabei haben wir zu unterscheiden zwischen Lokomotiven mit unabhängiger Bewegung der Zahntriebräder, wie die Maschinen nach Bauart Abt, und solchen mit fester Kuppelung zwischen Trieb- und Zahnradvorrichtung. Nach bekannten Regeln der Mechanik muß für Kraftübertragung durch Zahnräder ein Arbeitsverlust durch Reibung von rund 4 v. H. gerechnet werden.

Handelt es sich um vereinigte Reibungs- und Zahnradmaschinen der ersten Art, ohne Vorgelege, so ist zu berücksichtigen, daß bloß die Hälfte der gesamten Kraft durch die Zahnräder, die andere Hälfte auf gewöhnliche Art übertragen wird. Somit ist zu dem der Lokomotive als solcher eigenen Widerstand noch ein solcher von 2 v. H. der Gesamtzugkraft zu rechnen. Für reine Zahnradlokomotiven mit Vorgelege dagegen ist auch noch mit Rücksicht hierauf ein Arbeitsverlust anzunehmen, z. B. bei einem Zwischenrade, ungefähr 8 v. H. für Zahnreibung.

Für Zahnradmaschinen gemischter Bauart mit fester Kuppelung zwischen Trieb- und Zahnradvorrichtung, wie solche namentlich früher mit Vorliebe ausgeführt wurden, kommen aber noch weitere Erscheinungen hinzu, die allerdings für leichtere Maschinen weniger ins Gewicht fallen als für schwere und namentlich solche, welche mit einer ansehnlichen Geschwindigkeit verkehren, sowie große Wege zurücklegen müssen. Der Grund zu diesen ungünstigen Erscheinungen liegt in der festen Kuppe-

lung zwischen den Reibungs- und den Zahnrädern. Sie alle müssen infolgedessen die gleiche Anzahl Umdrehungen machen. Wäre es möglich, den Umfang der Reibungsräder vor Abnutzung zu bewahren, so wäre alles gut. Radreifen von solcher Eigenschaft besitzen wir nun leider nicht. Sobald wir aber mit der Abnutzung rechnen müssen, ergibt sich das Mißliche, daß der Durchmesser und damit der Abwicklungsweg dieser Räder sich stetig vermindert, während jener des Zahntriebrades unverändert bleibt. Die unvermeidliche Folge der festen Kuppelung ist ein Schleifen der Reibungsräder auf den Laufschienen, ein größerer Widerstand und eine vermehrte Abnutzung, sowie ein Pressen und Drängen der Zahnräder in der Zahnstange. Diese Erscheinungen verursachen bei fortgeschrittener Abnutzung der Räder einen stoßenden, unruhigen Gang der Maschine, der sich leicht auch auf die Wagen überträgt.

Um dem Übel zu steuern, wird der Durchmesser der Reibungsräder anfänglich um einige Millimeter zu groß gewählt, also mit einem Fehler begonnen. Derselbe vermindert sich dann mit der Abnutzung der Radreifen bis zu dem Augenblick, wo ihr Durchmesser gleich demjenigen der Zahnräder geworden ist; von da an aber nimmt er wiederum zu, bis endlich die Radreifen durch neue ersetzt werden. Daß unter solchen Verhältnissen eine vorteilhafte Ausnutzung der Radreifen ausgeschlossen ist, liegt nahe. Anderseits darf nicht unerwähnt bleiben, daß durch die besprochene Anordnung der gemischten Zahnradlokomotiven nur ein Zylinderpaar bedingt wird. Lokomotiven dieser Bauart sind infolgedessen einfacher, billiger in der Anschaffung sowohl, wie in der Unterhaltung und darum für leichtere Arbeit, für den Betrieb von Güter- und Werkbahnen, namentlich wenn die Zahnstrecke kurz ist, nicht ohne Vorteile.

Endlich kommt zu allen diesen Reibungsverlusten noch der Widerstand der Schwere hinzu, der bis zu Steigungen von 100 v. T. für je 1 v. T. mit 1 kg für eine Tonne Gewicht genügend genau berücksichtigt ist. Für höhere Steigungen dagegen empfiehlt sich die genauere Formel mit dem Sinus des Steigungswinkels, die

für	150	v. T.	für	1	Tonne	Gewicht	148 kg
„	200	„	„	1	„	„	196 „
„	250	„	„	1	„	„	242 „

Widerstand ergibt.



Dritter Abschnitt.

Bau und Ausrüstung der Zahnstangenbahnen.

§ 7. Linienführung und Unterbau der Zahnstangenbahnen.

Grundriß und Aufriß.

Die Möglichkeit, die Steigungen in sehr weiten Grenzen zu ändern, verleiht den Steilbahnen die Befähigung und zugleich den Hauptvorzug, sich den Bodenformen in sehr weitgehendem Maße anzuschmiegen. Dadurch wird es möglich, den größten Teil der Bahn auf gewachsenen Boden zu legen und die Kunstbauten sowohl, wie auch die Erdarbeiten und Tunnel wesentlich zu beschränken. Was hinsichtlich scharfer Bogen geleistet werden kann, zeigt die nach Abt'schem System gebaute Bahn der Rima Murany-Werke in Salgo Tarjan, deren kleinste Krümmungshalbmesser 8 m betragen; die elektrische Bahn gleicher Bauart auf den Mont Salève weist solche von 35 m auf und die nach Klose erbaute Bahn von St. Gallen nach Gais von 30 m. Für gewöhnliche Bahnen ist die Verwendung ganz enger Bogen, wie sie die Zahnstange für sich allein gestatten würde, ausgeschlossen, weil hier auf die durchgehenden Wagen Rücksicht genommen werden muß. Wo es sich um die Beförderung vollspuriger Wagen handelt, bildet ein Bogenhalbmesser von 200 bis 180 m die untere, noch zulässige Grenze für die Zahnstangenstrecke, wie für die gewöhnliche Bahn. Für schmale Spur dagegen und überall dort, wo es dem Konstrukteur anheimgegeben ist, nicht nur den Motor, sondern auch die Wagen für den leichten Durchgang durch enge Bogen entsprechend herzustellen, bietet, wie oben bemerkt, die Zahnstange kein Hindernis, auch sehr scharfe Bogen anzuwenden.

Für den Übergang von dem gebogenen in das gerade Gleis und umgekehrt haben sich besondere Übergangsbogen entbehrlich erwiesen, dagegen empfiehlt es sich, zwischen Krümmungen von entgegengesetztem Sinne jeweils eine Gerade von mindestens einer Schienenlänge einzuschalten.

Die reinen Zahnradbahnen besitzen meistens keine Spurerweiterungen. Sylvester Marsh hat am Mount Washington sogar auf das übliche Seitenspiel der Spurkränze zwischen den Schienen ganz verzichtet. Die Gründe hierfür sind naheliegend. Wenn das Fahrzeug im Gleis von Haus aus schon ein Spiel von 10 oder 12 mm erhält, wenn dazu das Gleis, namentlich bei den früher üblichen Holzschwellen, schon anfänglich statt der genauen Spur, Erweiterungen von einigen Millimetern aufweist, die mit der Zeit unvermeidlich noch erhöht werden, wenn ferner eine Vermehrung des Seitenspiels durch Abnutzung der Lagerschalen und namentlich der Spurkränze hinzukommt, so muß sich mit der Zeit insgesamt ein Spielraum von etwa 20 bis 30 mm einstellen. Eine Beschränkung der Seitenbewegung ist daher wohl geboten. Aus diesem Grunde zeigen die Riggenbach'schen Bahnen im Mittel eine

Zahnbreite des Rades von 100 mm bei einer freien Weite zwischen den Wangen der Zahnstange von 126 mm. Das unschädliche Seitenspiel des Zahnrades kann also hier ± 13 mm betragen. Handelt es sich aber um gewöhnliche Bahnen, so sind Spurerweiterungen unentbehrlich. Abt hat seinen neueren Bahnen solche bis 21 mm gegeben, wie die Erfahrung zeigt mit vorzüglichem Erfolge. Die Verteilung geschieht in nachfolgender Weise:

für Bogen von über		500 m	Halbmesser	0 mm
„ „ zwischen	500 und	350 „	„	7 „
„ „ „	349 „	250 „	„	14 „
„ „ unter		250 „	„	21 „

und zwar erfolgt die erste Erweiterung nur für den inneren Schienenstrang, die zweite für beide mit je 7 mm; die höchste Erweiterung zu $^2/_3$ (14 mm) für den inneren, zu $^1/_3$ (7 mm) für den äußeren Strang, wobei die Zahnstange stets in der Bahnachse verbleibt. Dabei besitzen die Zahnräder ein zulässiges Seitenspiel von ± 28 mm.

Auch die Schienenüberhöhung wurde bei den ersten Zahnradbahnen für entbehrlich gehalten, fand aber nach und nach, wenn auch in beschränktem Maße, bei reinen, dagegen im vollen Umfange bei den vereinigten Reibungs- und Zahnradbahnen Einführung.

Für Vollspur und die bei Zahnradstrecken in Betracht kommende Geschwindigkeit von rund 3 m in der Sekunde haben sich folgende Überhöhungen der äußeren über die innere Schiene bewährt:

90 mm	für Krümmungshalbmesser von	150 m
75 „	„ „ „	200 „
50 „	„ „ „	300 „
25 „	„ „ „	400 „
10 „	„ „ „	500 „

Für Schmalspur hat eine dem Schienenabstande entsprechende Verminderung einzutreten.

Auf reinen Zahnradbahnen werden in den Krümmungen von größerem wie kleinerem Halbmesser Überhöhungen von 30 bis 40 mm angewendet.

Für die lotrechte Ausrundung in Gefällsbrüchen wurde bei älteren, wie auch einzelnen neueren Zahnradbahnen zum großen Nachteile des Betriebes nicht immer das Richtige getroffen. Zu schroffe Neigungswechsel machen es auch dem aufmerksamen Führer zur Unmöglichkeit, eine gleichmäßige Fahrgeschwindigkeit einzuhalten. Das für sich allein wäre Grund genug, diese Übergänge möglichst sanft zu wählen. Es kommen aber noch andere Erscheinungen hinzu. Bei zu knapp bemessenen Ausrundungen dieser Art machen die Zug- und Stoßvorrichtungen sehr große Ausschläge, steigen bisweilen sogar aufeinander auf. Bei dreiachsigen Fahrzeugen liegt die Gefahr nahe, daß bei der Ausrundung einspringender Ecken die mittlere Achse ganz entlastet wird und dabei die Führung in den Schienen verlieren kann, umgekehrt aber in der Ausrundung erhabener Ecken den ganzen Wagen zu tragen bekommt, wobei dann die Endachsen entlastet werden und die Puffer sich leicht übereinander schieben.

Auch für Bahnen, deren Züge bloß aus der Maschine und einem Wagen bestehen, empfiehlt es sich, den Halbmesser der erhabenen Ausrundungen nicht unter



300 m zu nehmen; noch besser wären 500 m, während für die hohlen Ausrundungen 300 m zulässig sind. Bei Bahnen, für den gewöhnlichen Verkehr bestimmt, sollte die Ausrundung nicht weniger als 2000 m Halbmesser erhalten, in keinem Falle weniger als 1600 m; dann kann auch auf den Zahnstangenstrecken, wie solches die Bahnen am Harz und nach Tiszolcz lehren, mit aller Sicherheit Langholz von 20 m Länge auf gewöhnlichen Langholzwagen befördert werden. Ebenso wird nötig, die Zahnstange nicht ausschließlich auf die steile Rampe zu beschränken, sondern reichlich in die angrenzende Reibungsstrecke hinein zu verlängern, damit die Lokomotive, befinde sie sich am Ende oder an der Spitze des Zuges, über die Zahnstangeneinfahrt weggegangen ist und sich auf der Zahnstange selbst befindet, bevor der Zugwiderstand infolge Gefällsänderung größer geworden ist, als für die Reibung allein vorgesehen wurde.

Aus ähnlichen Gründen empfiehlt es sich ebenso sehr, den wagerechten Strecken der Bahnhöfe genügende Länge zu geben, so daß nicht bei jedem Verschieben oder Überleiten des Zuges von einem Gleis auf ein anderes die Maschine bereits über die Zahnstangeneinfahrt weg und in einen Teil der Steilrampe fahren muß.

Unterbau.

Die eigentlichen Unterbauarbeiten unterscheiden sich für Zahnradbahnen nicht von jenen gut angelegter, gewöhnlicher Bahnen; höchstens darf gesagt werden, daß der beste, widerstandsfähigste Unterbau sich hier noch mehr wie dort empfiehlt. So hat sich insbesondere die Herstellung eines reichlich breiten, auf Steinbett gelagerten und mit Trockenmauer beiderseits eingefaßten Bahnkörpers ganz vorzüglich bewährt, vermindert auch in gewissen Grenzen das Wandern des Oberbaues, namentlich bei sehr bogenreichen Bahnen. Auf höheren Steigungen und bei weniger günstigem Unterbau haben sich freilich künstliche Stützpunkte als unentbehrlich herausgestellt.

Diese Stützpunkte des Oberbaues waren am Mount Washington durch die Natur des Unterbaues (Holzgerüste) gegeben. Auf den späteren Bahnen hat man sie durch Blöcke aus Mauerwerk hergestellt, damit aber wenig befriedigende Erfahrungen

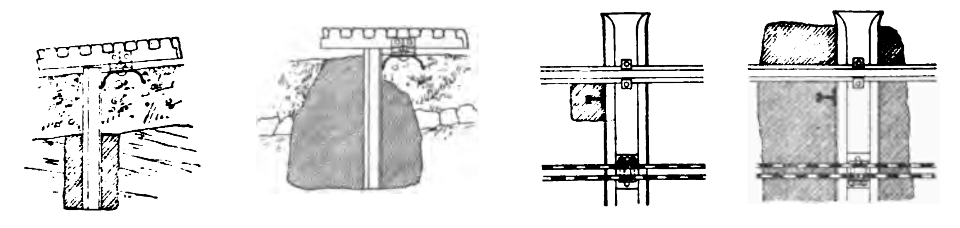


Abb. 46, 47. Abb. 48, 49.

Stützpunkte des Oberbaues gegen Wandern.

gemacht. Bei der Generosobahn wendete Abt die durch beistehende Abb. 46, 47, 48 und 49 dargestellte Bauart an, welche nun allgemeine Einführung gefunden hat und in jeder Hinsicht befriedigt. Je nach der Bodenbeschaffenheit und der Steigung werden in Abständen von 50 bis 200 m in den felsigen Untergrund Löcher gehauen oder bei gewöhnlichen Bodenverhältnissen größere Betonblöcke hergestellt, in die ungefähr meterlange Schienenabschnitte eingegossen werden und zwar derart, daß ihr Fuß an die untere Seite einer Schwelle anzuliegen kommt. Nötigenfalls kann durch Flacheisen oder Blechstreifen ein allfälliger Spielraum zwischen Stützpunkt

und Schwelle ausgekeilt werden. Diese Anordnung hat den besonderen Vorzug, daß ein Heben oder Senken des Gleises, wie solches sich durch Ausrichten und Unterstopfen ergeben kann, möglich wird, ohne daß dadurch der Stützpunkt verloren geht. Ein Oberbau mit eisernen Schwellen ist dem Wandern weniger ausgesetzt, als ein solcher mit Holzschwellen. Auf Bahnen von unter 70 v. T. Steigung werden bei vorzüglichem Unterbau gewöhnlich keine Stützpunkte ausgeführt.

§ 8. Oberbau der Zahnstangenbahnen.

Schienen.

Die ersten Zahnradbahnen hatten ganz schwache Schienenquerschnitte gewählt. Allein schon die Rücksichtnahme auf das soeben erwähnte Wandern des Oberbaues auf steilen Strecken empfiehlt die Anwendung kräftiger Schienen und Winkellaschen zu einer festen Verbindung mit den Schwellen.

Schwellen.

Die Notwendigkeit einer genauen Lage des ganzen Oberbaues und der Einhaltung der Spurweite, sodann die sehr hohe Inanspruchnahme des ganzen Gestänges hat die Anwendung eiserner Schwellen als höchst empfehlenswert herausgestellt. Die Verbindung zwischen Schwellen und Schienen ist in verschiedener Weise gelöst, auf der Harzbahn z. B. mittels Haken und Keil, während eine sehr große Zahl von Bahnen die sogenannte rheinische Befestigungsweise mit Klemmplättchen und Hakenschrauben verwendete.

Die Bahn am Mount Washington liegt, wie erwähnt, zum größten Teile auf Holzgerüsten. Daß dabei die Querhölzer durch Langschwellen gedeckt und verbunden wurden, war nur natürlich. Bei der Ausführung der ersten Zahnradbahnen in Europa hat man geglaubt, auch diese Anordnung beibehalten zu müssen. Dabei wurden diese Balken bald außerhalb der Laufschienen, wie am Rigi, bald zwischen denselben zur Lagerung und Überhöhung der Zahnstange angebracht. Schon die ersten Jahre des Betriebes aber haben gezeigt, daß damit an Festigkeit wenig gewonnen war, während die genaue Lage der Zahnstange infolge des Verhaltens des Holzes unter dem Einflusse der Witterung entschieden zu leiden hatte; zudem drang die Feuchtigkeit in alle Verbindungsstellen ein und führte eine rasche Veränderung des ursprünglichen tragfähigen Zustandes herbei. Später wurden am Rigi die hölzernen Langschwellen durch solche aus ⊔ Eisen ersetzt. Bald aber machte sich die Überzeugung geltend, daß die beste und genügende Sicherheit in einer starken Laufschiene und der kräftigen Stoßverbindung der Zahnstangenstücke zu suchen sei.

Zahnstangen.

Schon Cathcart hatte in richtiger Erkenntnis des Verhaltens des Zahnrades seiner Zahnstange Evolventenverzahnung gegeben. S. Marsh hat dann zur Punktverzahnung gegriffen, die ihm erlaubte, die Zähne seiner Stange aus Rundeisen herzustellen. So zweckentsprechend diese Lösung auch war, so verdient doch die Evolventenverzahnung, die auch Riggenbach gleich anfangs wählte und die seither alle Zahnstangen ohne Ausnahme zeigen, entschieden den Vorzug, denn sie gestattet unbeschadet einer richtigen Abwicklung den verschieden tiefen Eingriff des Rades, mit dem im Betriebe gerechnet werden muß.



Bei der Leiterform (Abb. 12—16, Seite 9 und 10) ist die Zahnstange aus 3 m langen Stücken zusammengesetzt. Jedes einzelne besteht aus zwei Winkeln oder zwei ⊏ Eisen und dazwischen gesteckten Zähnen, die, wie soeben gesagt, ursprünglich aus Rundeisen, bei den späteren Bahnen aber durchweg aus Trapezeisen bestehen. Hierzu aber mußten die Löcher in den Seitenteilen durch Lochen hergestellt werden, weil die Enden dieser Zähne nur soweit angedreht wurden, daß oben und unten noch gerade Flächen verblieben, die ein Drehen des Zahnes verhinderten. Allein diese Bearbeitungsweise zeigte in der Werkstätte und vereinzelt auch im Betriebe Erscheinungen, die auch im Brückenbau und in verwandten Zweigen dazu führten, vom Lochen und Stanzen ganz abzusehen und alle Löcher nur mit der Bohrmaschine herzustellen. Jene an und für sich zwar nicht gerade bedenklichen Erscheinungen wurden noch befördert durch das Vernieten der Zahnenden, welches anderseits der ganzen Zahnstange eine große Steifigkeit verlieh.

Diese Unvollkommenheiten führten zur Konstruktion der Leiterzahnstangen von Klose und Bissinger (Abb. 33—36, Seite 18). Um die Löcher in den Seitenwangen auf einfache Weise herstellen zu können, mußten sie, und dementsprechend auch die Enden der trapezförmigen Zähne, rund sein. Damit nun aber ein Drehen der Zähne um ihre Längsachse ausgeschlossen blieb, wurde an jeder Seitenwand eine Rippe angebracht, auf welcher die Zähne mit ihrer Grundfläche ruhen. Um endlich auch das Vernieten der Zahnenden zu vermeiden, wurden am Ende der Stangenstücke einzelne Zähne vorstehen gelassen, darüber eine Lasche aus Flacheisen gesteckt und das Ganze durch Muttern zusammengehalten, wodurch eine gute Längsverbindung erreicht war. Die so hergestellten Stücke werden entweder auf die Querschwellen gelegt und mit denselben verschraubt, oder, sofern eine höhere Lage notwendig wird, auf gußeisernen oder aus Blech hergestellten Stühlen befestigt, die mit den Querschwellen verbunden sind. Sämtliche Zahnstangenstücke werden, soweit es sich nicht um sehr enge Bogen handelt, als Gerade hergestellt und nachträglich für die Bogenstrecken je nach dem Krümmungshalbmesser in der Werkstätte gebogen. Für ganz enge Bogen aber werden die innere und äußere Seitenwand entsprechend gebohrt, so daß die Zähne die richtige Stellung gegen den Mittelpunkt des Kreises hin erhalten.

Auf anderen Grundsätzen baut sich die Abt'sche Plattenzahnstange auf (Abb. 25—31). Diese kommt nicht als fertiges Ganzes, sondern in ihren einzelnen Teilen auf die Baustelle und muß dort, wie das übrige Gestänge, erst zusammengestellt werden. Sie besteht aus zwei oder drei gleichlaufenden Stäben, deren oberer Teil die Verzahnung trägt, deren unterer zur Befestigung auf den Stühlen dient. Letztere bilden die Verbindung der eigentlichen Zahnstange mit den Querschwellen. Sie sind entweder aus Flußeisen gewalzt, oder aus einem besonders hierfür gewählten stahlartigen Eisen gegossen. Durch die der Bauart eigentümliche Verschränkung der Zähne, wie der Platten, wird die Stoßverbindung auf natürliche Weise eine ungewöhnlich kräftige. Es befinden sich neben der Stoßfuge der zweiteiligen Zahnstange je eine, der dreiteiligen sogar zwei Platten mit vollem Querschnitt, außerdem aber bildet der Stuhl, der sich mit seinem Kamme zwischen die Platten stellt, eine weitere sehr kräftige Lasche. Schließlich werden aber auch die beiden Plattenenden durch eine wirkliche Lasche aus Flacheisen überdeckt.

Die Schienenzahnstange von Strub (Abb. 41 u. 42, S. 20 u. 25) wird in 3,5 m langen Stücken hergestellt. Der sehr kräftig gehaltene Kopf einer Breitfuß-



schiene erhält durch Bohren und Sägen die entsprechende Verzahnung. Da der Grund der Zahnlücke eine gewisse Breite aufweist, so wird er, um einer Verstopfung durch Eis vorzubeugen, seitlich abfallend hergestellt. Die Verbindung mit den Querschwellen erfolgt durch ebendieselben Befestigungsteile, Klemmplättchen und Hakenschrauben, wie die Laufschienen, in den Stößen aber durch besondere, kräftige Winkellaschen.

Längenausdehnung und Zahnteilung bei Wärmeänderungen.

Die Zahnstangen mit einfacher Zahnung werden an ihrem unteren Ende festgehalten. Bei der üblichen Länge der Teile, von 3 bis 3,5 m, und den in gemäßigtem Klima vorkommenden Wärmeänderungen verschiebt sich somit das obere Ende um rund 3 mm. Fehler von dieser Größe sind daher in der Zahnteilung einer jeden Stoßfuge zu gewärtigen. Kommen jedoch keine anderen Ungleichheiten hinzu, so sind, wie die Erfahrung lehrt, Störungen im Zahneingriff nicht zu befürchten.

Günstiger gestaltet sich der Einfluß der Wärme bei der Plattenstange mit verschränkter Verzahnung. Wie früher gezeigt wurde, werden dabei die einzelnen Platten in der Mitte festgehalten; sie verschieben sich also an jedem Ende, und zwar bei 90 cm Länge um $\pm$ 0,25 mm von der Mittellage aus. Die dadurch bedingte Abweichung in der Zahnteilung der Stoßfugen ist somit verschwindend klein, wird aber ganz unschädlich gemacht durch den Umstand, daß neben zwei Enden immer eine volle Platte mit genauer Teilung liegt. Wir werden später sehen, wie diese günstigen Umstände zu einer einfachen Befestigung der Zahnstange auf langen, eisernen Brücken vorteilhaft ausgenützt werden können.

Material der Zahnstangen.

Die älteren Leiterzahnstangen sind gänzlich aus gewalztem Schweißeisen, die späteren aus Flußeisen, die Stühle aus gewöhnlichem Gußeisen hergestellt.

Die Platten der Abt'schen Zahnstangen werden aus zähem Flußstahl nach dem Martin- oder Thomasverfahren hergestellt und zwar mit einer Zugfestigkeit von mindestens 48 kg für das qmm, einer Dehnung von wenigstens 20 v. H. und einer Einschnürung der Bruchstelle von nicht unter 38 v. H. Aus etwas weicherem Stahl mit 45 kg Festigkeit besteht die Schienenzahnstange.

Die Klemmstücke aller Bauarten bestehen aus Schweißeisen.

Die Abnutzung der Zahnstangen jeder Art ist eine verschwindend kleine, selbst da wo Schmierung unterlassen wird. Es ist aber nicht zu verkennen, daß ein richtiges Schmieren nicht nur die Zähne des Zahnrades und der Zahnstange länger erhält, sondern auch die Reibungswiderstände vermindert.

Zahnstangeneinfahrten.

Solange es sich nur um reine Zahnradbahnen handelt, bleiben die Zahnräder beständig im Eingriff mit der Zahnstange, anders für Bahnen, bei welchen Reibungs- und Zahnstangenstrecken abwechseln.

Die erste gemischte Zahnradlokomotive, jene von Madison-Indianopolis, hatte eine lotrecht verstellbare Zahnradachse. Mit Hilfe der im Zuge angesammelten lebendigen Kraft wurde auf die Strecke mit Zahnstange eingefahren, dann das Zahnrad langsam gesenkt, wodurch sich der Eingriff ohne Anstände herstellen ließ. Wie schon früher angedeutet, mußte für die erste nach Ostermundingen gelieferte Maschine gemischter Bauart in umgekehrter Weise das Anfangsstück der Zahnstange bewegt



werden, um den Eingriff des Zahnrades herbeizuführen. Die damit verbundenen Umstände und Schwierigkeiten wurden von der 1876 von Abt erfundenen und ausgeführten Einfahrt in vollkommener Weise beseitigt. Dieselbe besteht, wie Abb. 50 zeigt, aus einem ungefähr 3 m langen Zahnstangenstück, das in der Längsrichtung durch Gelenk mit der festliegenden Zahnstange verbunden ist und dabei auf Federn ruht. Wenn das Zahnrad der sich nähernden Lokomotive auf diese Einfahrt gelangt und dabei die Zähne von Rad und Stange sich aufeinander stellen, so ist keine Beschädigung, sondern bloß ein Niederdrücken des ganzen Stückes zu gewärtigen. Für

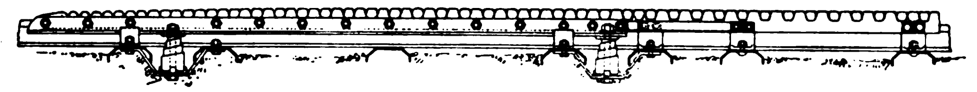


Abb. 50. Zahnstangeneinfahrt.

Maschinen mit steifer Kuppelung zwischen Trieb- und Zahnrad ist jedoch in diesem Falle nicht zu erwarten, daß ein richtiger Eingriff ohne weiteres erfolge. Besitzt aber das Einfahrtstück eine andere, größere oder kleinere Teilung als das Rad, so stellt sich bei der Abwickelung des Rades mit jeder Teilung eine Abweichung von der anfänglichen Stellung zwischen den Zähnen der Stange und der Rades ein; bald ist dieselbe so groß, daß der Zahn sich über einer Lücke befindet. In diesem Augenblicke kommt die Wirkung der unterdessen zusammengedrückt gewesenen Federn zur Geltung. Das bewegliche Einfahrtstück wird in die Höhe geschoben und damit der Eingriff hergestellt.

Für Lokomotiven mit getrennten Triebwerken ist auch dieser Wechsel in der Teilung des Einfahrtstückes entbehrlich. Dadurch, daß hier Reibungsrad und Zahnrad ganz verschiedene Umdrehungszahlen besitzen können, wird im Falle des Auflaufens des Zahnrades sich dieses entsprechend dem Umfange seines Kopfkreises abzuwickeln suchen, also einen größeren Weg zurücklegen als der Teilkreis. Schon nach wenigen Teilungen stellt sich eine genügende Abweichung in der Zahnstellung ein und der Eingriff erfolgt.

Schienenbühnen und Weichen.

Bei gemischten Zahnradbahnen lassen sich wohl immer Abzweigungen und

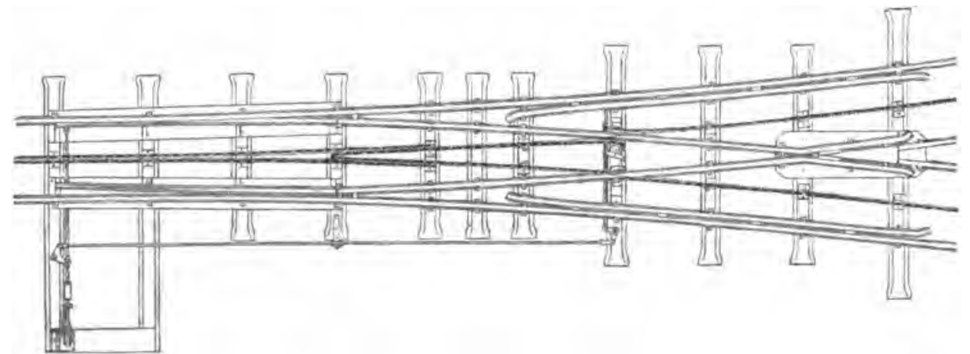


Abb. 51. Zahnstangenweiche.

Kreuzungen in die Reibungsstrecken verlegen, so daß besondere Vorrichtungen für die Zahnstange entfallen. Anders bei reinen Zahnradbahnen.

Die älteren Ausführungen und auch die Pilatusbahn bedienen sich hierzu großer Schiebebühnen, auf welche sich der ganze Zug samt Maschine stellt und mittels entsprechender Vorrichtungen verschoben wird. Unstreitig ist damit die Verschiebung auf dem denkbar kleinsten Raume ermöglicht, allein die Anlage dieser Bühnen ist recht kostspielig, die Handhabung langsam und ohne große Vorsicht nicht durchaus zuverlässig. Schon frühzeitig wurde daher versucht, auch für den Zahnstangenoberbau, ähnlich dem gewöhnlichen, eigentliche Weichen herzustellen. Dieselben wurden mit der Zeit vervollkommnet und sie zeigen heute die in Abb. 51 dargestellte Anordnung, welche zuerst für die Abt'schen Linien eingeführt, dann auch den übrigen Bahnen angepaßt wurde und nach und nach eine Reihe von Schiebebühnen der Leiterzahnstange ersetzte.

Straßenübergänge und Straßenzahnstange.

Schon bei den Vergnügungsbahnen, dann noch mehr bei den Bahnen für den allgemeinen Verkehr konnte die Kreuzung von Bahn und Straße nicht überall umgangen werden. Die Lösung hat sich je nach der Bedeutung der Straße auf verschiedene Weise gemacht. Für wenig besuchte Übergänge wurde der Raum zwischen

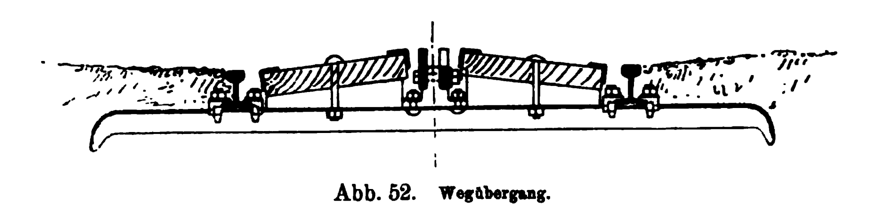


Abb. 52. Wegübergang.

Laufschiene und Zahnstange durch starke Dielen nach Art der Abb. 52 ausgefüllt, eine Anordnung, welche überall vollständig befriedigte. Wo es sich dagegen um Hauptstraßen handelte, oder um die Unterbringung der Zahnstange in der Straße selber, mußten vollkommenere Einrichtungen zu Hilfe genommen werden. Die Leiterzahnstange eignet sich gerade für diesen Zwek vorzüglich, indem es leicht wird,

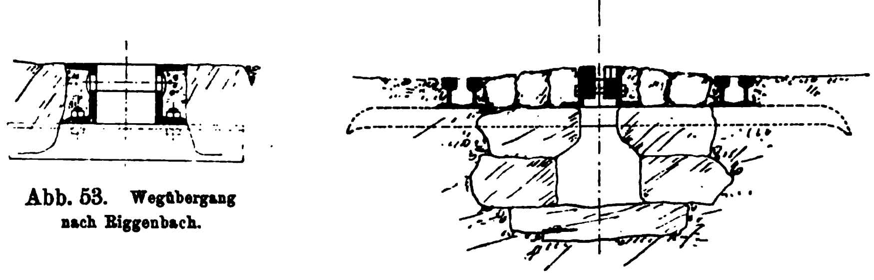


Abb. 53. Wegübergang nach Riggenbach.

Abb. 54. Wegübergang der Generosobahn.

die obere Fläche der Zähne in gleicher Höhe mit den oberen Flügeln der seitlichen ⊏Eisen zu bringen (Abb. 53). Dadurch verbleiben die Zahnlücken als einzige Vertiefung von ungefähr 130 mm Länge und 77 mm Breite. So gut sich die Lösung in dieser Hinsicht macht, so große Schwierigkeiten ergeben sich für den Unterbau. Wird, wie auf der Bahn in Neapel, unter der Stange nicht ein richtiger, umfangreicher Abzugskanal hergestellt, dann füllt sich der kleine Raum zwischen den

Wangen rasch mit allerlei Geschiebe, Schlamm und Unrat und bietet dadurch große Unannehmlichkeiten, im Winter bei Eis und Schnee ernstliche Betriebsschwierigkeiten. Die Herstellung eines richtigen Kanales aber samt den entsprechenden Sammelgruben erfordert ganz erhebliche Anlagekosten. Bei der Generosobahn finden wir die durch Abb. 54, S. 47 angedeutete Lösung.

Befestigung der Zahnstangen auf eisernen Brücken.

Ähnliche Schwierigkeiten, wie sie die Längenänderung der Laufschienen auf größeren Brücken verursacht, sind je nach der Bauart auch für die Zahnstange zu überwinden. Die hierfür nötigen Vorrichtungen müssen noch vollkommener sein, als für das gewöhnliche Gleis, weil die für die Zahnteilung zulässigen Abweichungen sich in sehr engen Grenzen bewegen. Augenscheinlich waren viele Bahnen bestrebt, längere Brücken ganz zu vermeiden, oder sie in Stein und Mauerwerk auszuführen. Wo aber längere eiserne Brücken unentbehrlich wurden, sind die Öffnungen meistens

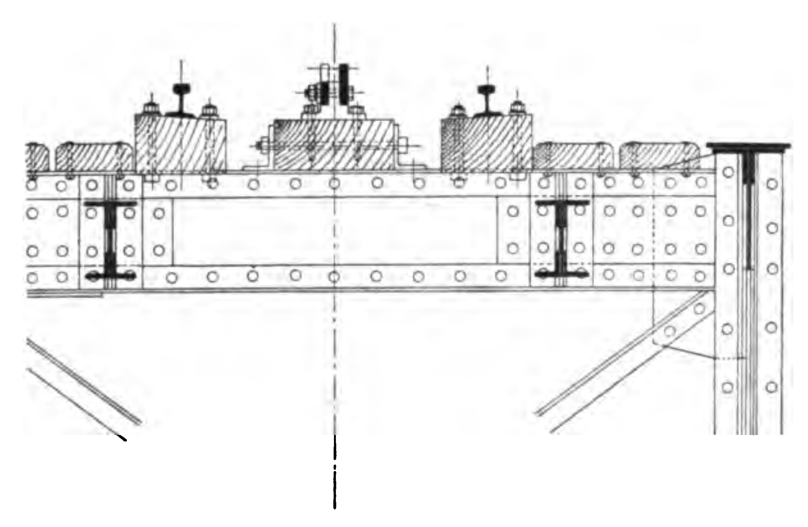


Abb. 55. Lagerung der Zahnstange auf eisernen Brücken.

kurz, so daß die Längenänderung unbedeutend bleibt. Bis zur Brücke behält die Zahnstange ihre feste, unveränderliche Lage. Auch das untere Ende der Zahnstange auf der Brücke kann als fest betrachtet werden. Am oberen Ende der Öffnungen aber wird sich die ganze Ausdehnung entsprechend der Länge und dem Wärmegrad einstellen, also mit rund $^1/_{850}$ für 100° Celsius Wärmeunterschied. Für unser Klima muß der zu erwartende Unterschied zwischen niedrigster und höchster Temperatur zu 65—70° C. vorgesehen werden, die Ausdehnung dementsprechend zu 0,8 v. T. der Länge. Für eine lichte Weite der Brücke von z. B. 30 m macht das bereits einen Gesamtweg des oberen Endes von 24 mm. Solche Abweichungen von der Teilung verträgt aber die Zahnstange irgendwelcher Bauart ohne Gefährdung des Eingriffes nicht. Eine einfache und auch für Leiterschienen wiederholt mit Erfolg gewählte Lösung wurde darin gefunden, daß die Zahnstange nicht unmittelbar auf die Eisenkonstruktion, sondern auf einem oder zwei nebeneinander angeordneten Langhölzern gelagert wurde (Abb. 55). Die Befestigung der Zahnstange auf diesen Hölzern erfolgt

in gewöhnlicher Weise, diejenige der letzteren auf dem Eisenwerk aber durch seitliche Führungen, welche in der Längsrichtung freies Spiel gewähren.

Für einige andere Bahnen hinwiederum wurde der Grundsatz, auf dem sich die Abt'sche Zahnstange aufbaut, auch bei der Befestigung derselben auf den eisernen Brückenüberbauten festgehalten. Schon anfangs wurde auf die Ähnlichkeit dieser Zahnstange mit einer Gall'schen Gliederkette hingewiesen. Dieser Umstand, wie auch der weitere, daß Ungleichheiten bis zu 2 mm in der Teilung ohne alle Betriebsgefahr zulässig sind, erlauben auch die unmittelbare Lagerung dieser Zahnstange auf lange Eisenkonstruktionen. Erhalten nämlich die für die Befestigungsschrauben bestimmten Endlöcher der Zahnplatten ein Längsspiel von 2 mm und werden die Muttern nicht zu fest angezogen, so haben die Platten die Möglichkeit, sich um eben dieses Maß in der Längsrichtung zusammen zu schieben, oder auseinander zu ziehen. Diese 2 mm sind aber gleichzeitig das Höchstmaß der Wärmeausdehnung der entsprechenden

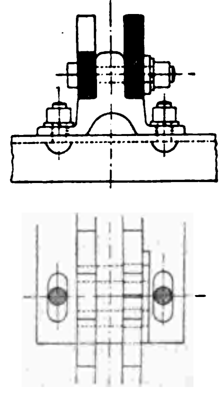


Abb. 56, 57. Zahnstangenstuhl auf eisernen Brücken.

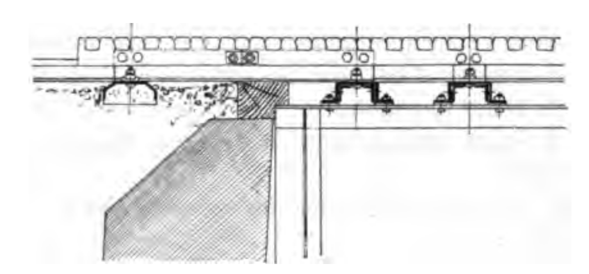


Abb. 58. Doppelstühle für die Zahnstange auf eisernen Brücken.

Länge der Platte. Die Längenänderung einer Brücke, auch wenn sie viele Zentimeter beträgt, verteilt sich somit bei richtiger Einrichtung der Abt'schen Zahnstange gleichmäßig auf ihre einzelnen Plattenstöße, wobei Abweichungen von der richtigen Teilung von höchstens ± 1 mm vorkommen können. Die einzelnen Zahnstangenstühle dagegen werden nach dem oberen Brückenende hin die Anhäufung dieser Längenänderungen aufweisen; sie müssen darum für ein Vielfaches jener Längenänderungen eingerichtet sein, d. h. in ihren Fußlappen längliche Löcher besitzen, wie die Abb. 56 und 57 zeigen.

Für sehr lange Brücken kann die benötigte Verschiebung so bedeutend werden, daß es sich empfiehlt, lange, über zwei Schwellen reichende Stühle zu verwenden (Abb. 58), die sich übrigens auch schon für die Enden einer jeden Brücke empfehlen, um beim Verlegen des Oberbaues von der Lage der Brücke ganz unabhängig zu sein.

§ 9. Lokomotiven und Wagen der Zahnstangenbahnen.

Lokomotiven.

In Anbetracht des ungünstigen Einflusses, den das Eigengewicht des Motors auf sehr starken Steigungen auf die Nutzleistung ausübt, sind die ersten Zahnradlokomotiven außergewöhnlich leicht hergestellt worden. Man wird selbstverständlich

immer danach trachten müssen, durch die Wahl geeigneter Anordnungen und bester Materialien, wie auch vorzüglicher Arbeit mit möglichst wenig Gewicht die höchsten Leistungen zu erzielen. Immerhin wird damit gegenüber gewöhnlichen, gut gebauten Lokomotiven nur wenig erreicht werden können. Günstig wirken einige Nebenumstände, wie z. B. die geringen Vorräte an Wasser und Kohlen, welche diese Maschinen mitführen, weil die Fassungsstellen nahe zusammengerückt werden. Wenn Zahnradlokomotiven eine hohe Zugkraft aufweisen, so äußern sie diese auf Rechnung der Geschwindigkeit, ohne daß dadurch die Berechtigung und die Vorteile des Zahnradbetriebes am richtigen Ort geändert oder herabgemindert würden.

Kessel.

Die Dampferzeugung geschieht in gleicher Weise wie bei gewöhnlichen Maschinen. Immerhin muß betont werden, daß für Zahnradlokomotivenkessel, mehr als für gewöhnliche, der Umstand ausgenützt wird, daß der Feuerbüchse und dem derselben zunächst liegenden Teile der Siederohre eine viel höhere Verdampfungsfähigkeit innewohnt als den übrigen Teilen. Die seinerzeit von der französischen Orleansbahn angestellten Versuche ergaben, daß die verschiedenen Stellen für mittlere Verhältnisse in nachfolgender Weise zur Gesamtdampferzeugung beitragen:

1. Jedes Quadratmeter der Feuerbüchse für eine Leistung von 13 Pferden;
2. jedes Quadratmeter des ersten Meters der Siederohre für eine solche von 4,5 Pferden;
3. jedes Quadratmeter des zweiten Meters der Siederohre für eine solche von 2,3 Pferden;
4. jedes Quadratmeter des dritten Meters für eine solche von 1,2 Pferden.

Um Gewicht zu ersparen, gibt man den Zahnradlokomotiven kurze Siederohre und erzielt damit für die vorhandene Heizfläche zwar eine hohe Leistung, aber auch eine weniger günstige Ausnützung der erzeugten Wärme, so daß diese Maschinen einen etwas höheren Kohlenverbrauch aufweisen.

Kraftübertragung.

Die Uberführung des Dampfes vom Kessel in die Zylinder und die Arbeit in denselben bietet keine wesentlichen Abweichungen gegenüber gewöhnlichen Lokomotiven, wohl aber die Übertragung der erzielten Arbeit auf das eigentliche Triebwerk.

Alle älteren Zahnradlokomotiven waren für eine sehr geringe Fahrgeschwindigkeit bestimmt. Die Zuhilfenahme von Vorgelegewellen und Übersetzungsrädern war daher die nächstliegende Lösung. Konnten doch dabei die Dampfzylinder verhältnismäßig rasch arbeiten, also kleiner und leichter werden. Nach diesem Grundsatze sind denn auch fast alle reinen Zahnradlokomotiven Riggenbachs gebaut worden. Vom Kreuzkopfe ab führen bei diesen Maschinen die Schubstangen zu den Kurbeln einer Vorgelegewelle. Auf ihr sitzen zwei Zahngetriebe und diese greifen in zwei größere Zahnräder ein, welche entweder mit dem Zahntriebrad auf einer weiteren Achse sitzen, oder mit diesem in geeigneter Weise verschraubt sind. Getragen werden solche Maschinen durch zwei gewöhnliche Laufachsen. Für die gemischten Maschinen dieser Bauart sitzen auf der Zahntriebachse abermals zwei Kurbeln, welche durch Kuppelstangen mit den Triebachsen in Verbindung stehen.

Grundsätzlich verschieden hiervon sind die Abt'schen Zahnradlokomotiven. Diese entbehren des Vorgeleges. Wie bei gewöhnlichen Lokomotiven erfolgt die

Kraftübertragung von den Kreuzköpfen weg entweder mittels zweiarmigen Hebels und Schubstangen, oder bei der Mehrzahl unmittelbar auf die Zahntriebachse.

Für den Betrieb reiner Zahnradbahnen besitzen die Maschinen ebenfalls nur zwei Dampfzylinder, ausgenommen die Bahnen von Pike's Peak, San Domingo und Mexiko, wo vier Zylinder mit Verbundanordnung Verwendung gefunden haben. Für Bahnen mit Reibung und Zahnstange erhalten die Lokomotiven von Abt vier Dampfzylinder, wobei das äußere Zylinderpaar, ganz gleich wie bei den gewöhnlichen Maschinen, die Reibungsachsen, das andere, zwischen den Rahmen gelagerte und von ersteren vollständig unabhängige Paar, die Zahnräder bewegt. Die letzteren arbeiten aber nur soweit sich die Zahnstange erstreckt und stehen auf den übrigen Strecken still, während die Reibungszylinder auf der ganzen Fahrt in Tätigkeit sind, also auch auf den Steilrampen soviel zur Fortbewegung des Zuges beitragen, als die natürliche Reibung zwischen Rad und Schiene gestattet.

Die zwei ebenfalls gekuppelten Zahnradachsen sind in einem besonderen Rahmen gelagert. Der letztere ist an die beiden nächstgelegenen Reibungsachsen gehängt und kann über jeder Putzgrube in kürzester Zeit in diese herunter gelassen werden. Eine Besichtigung oder Ausbesserung des Zahntriebwerkes macht sich somit sehr einfach und bequem, ohne daß das Auseinandernehmen von Maschinenteilen notwendig ist. Außerdem aber bietet diese Anordnung den wesentlichen Vorteil, daß die Zahnräder ganz unabhängig vom Federspiel der Maschine sind, also unveränderliche Eingriffstiefe besitzen.

Bremsen.

Eine besondere Eigentümlichkeit der Zahnradlokomotiven bilden die Bremsen. Jede Maschine besitzt deren mindestens zwei, die gewöhnliche Reibungsbremse, als Backen- oder Bandbremse durchgebildet, und die Luftbremse. Es ist leicht einzusehen, daß der auf Steigungen von 200 und 300 v. T. erzeugte Schub eines ganzen, wenn auch nur 25 oder 30 Tonnen wiegenden Zuges unmöglich durch die gewöhnlichen Reibungsbremsen über kilometerlange Gefälle herunter aufgenommen werden könnte; die erzeugte Wärme würde zu groß und hätte schwere Übelstände zur Folge, während Reibungsbremsen für kürzere Bremswege und für sicheres Anhalten der Züge ein unübertreffliches Mittel bleiben. Zur Aufnahme eines länger dauernden Schubes und damit zur Regelung der Fahrgeschwindigkeit auf der Talfahrt haben uns die Amerikaner Marsh und Aiken am Mount Washington die erste brauchbare Ausführung geliefert. Durch Otto Grüninger in seinem schon erwähnten Bericht wurde diese alsdann mit wesentlichen Vervollkommnungen auf die Rigibahn übertragen und seither im wesentlichen nicht nur von allen Zahnradbahnen, sondern auch von einer großen Zahl gewöhnlicher Reibungsbahnen benützt.

Einrichtung und Wirkung der Luftbremse sind kurz folgende. Durch die natürliche Bewegung der Räder während der Talfahrt werden die Kolben in den Dampfzylindern hin und her bewegt. Kann dieser Bewegung ein genügend starker Widerstand entgegengesetzt werden, so ist die Bremse fertig. Das Mittel hierzu bildet die atmosphärische Luft. Wird diese von außen durch den zurücktretenden Kolben in den Zylinder gesaugt, dann in dem Augenblicke, da der Kolben wieder seinen Rückweg antritt, durch Abschließen der Eintrittsöffnung am Entweichen verhindert, so bildet sich bei ihrer Verdichtung ein immer größer werdender Widerstand, der, falls ein Entweichen nicht möglich, bald den Kolben und damit den

Zug in seinem Laufe aufhalten würde. Da solches nicht beabsichtigt ist, wird zwischen dem Schieberkasten und den Einströmungsrohren, in welchen Räumen die Luft mit jedem Kolbenhube eingepreßt wird, eine Rohrverbindung mit Hahn bis zum Führerstande erstellt. Dieser Hahn wird vom Führer bei der Talfahrt ganz gleich gehandhabt, wie der Dampfregler für die Bergfahrt. Ein Öffnen des Hahnes gestattet der gepreßten Luft rascheres Entweichen und damit raschere Fahrt, weniger Öffnen langsamere Fahrt. Das richtige Einlassen der Luft wird von der Steuerung ebenso besorgt, wie die Dampfverteilung. Es ist zu diesem Zwecke nur nötig, daß die Steuerung in die der Fahrt entgegengesetzte Richtung gestellt und vollständig ausgelegt werde.

Um die durch die Bremsarbeit naturgemäß erzeugte Wärme unschädlich zu machen und die Erhitzung der Zylinder nicht zu groß werden zu lassen, wird eine bestimmte Wassermenge in diese Räume eingeführt. In Form von Dampf kommt diese am Ende der Luftleitung wieder zum Vorschein und bietet dem Führer dadurch ein sicheres Mittel zu erkennen, ob die zugeführte Menge richtig war. Ganz trockener Dampf deutet an, daß die Zufuhr zu gering war und die reibenden Teile sich zu sehr erhitzen; zu nasser Dampf läßt umgekehrt auf zu reichliche Abkühlung schließen, wodurch die Bremswirkung beeinträchtigt wird.

Vorschriften über die Handhabung vereinigter Reibungs- und Zahnradlokomotiven Abt'scher Bauart.

Bergfahrt. Sobald sich die Lokomotive einer Zahnstangeneinfahrt nähert, wird die Fahrgeschwindigkeit auf ungefähr 10 km ermäßigt. Durch schwaches Öffnen des Reglers zum Zahnradtriebwerk werden die Zahnräder in Umdrehung versetzt, so daß deren Umfangsgeschwindigkeit ebenfalls etwa 10 km beträgt. Der Eingriff in die Zahnstange erfolgt zwar auch ohne diese Vorkehrungen sicher und ohne Nachteil für das Getriebe, durch die vorgeschriebene Bewegung aber in sanfter und geräuschloser Weise, auch bei gesteigerter Fahrgeschwindigkeit. Sobald die Maschine sich im Eingriff mit der Zahnstange befindet, also an dem zur Seite jeder Einfahrt befindlichen Signal vorübergefahren ist, werden die Steuerschraube und die beiden Dampfregler so gestellt, daß die Lokomotive mit ihrer vollen Reibung arbeitet, ohne daß jedoch die Räder zum Schleudern kommen, die Zahnräder also nur den nötigen Zuschuß an Zugkraft zu liefern haben. Je nach dem Schienenzustande und besonders je nach der Zugbelastung wird demnach der Beitrag an Zugkraft der Zahnräder ein ganz verschiedener sein.

Das Öffnen der Schlammhähne, sobald die Dampfzylinder in volle Tätigkeit treten sollen, die verschärfte Beobachtung und Bedienung des Feuers, der Injektoren, des Manometers sind jedem Führer bekannte Obliegenheiten.

Während der Fahrt soll die Geschwindigkeit nur ausnahmsweise durch Verstellen der Steuerungen, sondern für gewöhnlich mit Hilfe der beiden Dampfregler, und zwar soweit immer möglich, durch jenen der Zahnradvorrichtung geschehen.

Auch die Ausfahrt aus der Zahnstange erfordert besondere Aufmerksamkeit. Hat sich die Maschine einer solchen bis auf etwa 30 m genähert, so wird der Dampfregler zu den Zahnrädern geschlossen und mit Reibung allein die letzten Meter der Zahnstange zurückgelegt. Würde diese Vorsicht unterlassen, so könnte der Dampfdruck in den Zylindern genügen, die Zahnräder mit solcher Wucht zu drehen, daß



sie über der elastisch gelagerten Einfahrt den Eingriff verlören und in eigentliches Schleudern gerieten, wodurch die Zähne an Zahnrad und Zahnstangeneinfahrt beschädigt werden könnten. Im weiteren ist die Handhabung ganz jene einer gewöhnlichen Reibungsmaschine.

Bezüglich der Talfahrt soll hier nur der Fall erwähnt werden, wo die Lokomotive nach Verlassen einer wagerechten Strecke zuerst ein größeres Reibungs- und dann ein Zahnstangengefälle zu befahren hat. Bewegt sich der Zug infolge der Schwerkraft abwärts, so schließt der Führer die Klappe zum Blasrohr, damit aus der Rauchkammer nicht Ruß und andere den Zylinderflächen schädliche Teile angesaugt werden können. Mit derselben Bewegung hat er auch die Dampfausströmungsleitung mit der äußeren Luft in Verbindung gebracht, damit frische, reine Luft bezogen werden kann. Wird nun die Steuerung der Fahrtrichtung entgegen gestellt, so beginnt die Wirkung der betreffenden Zylinder als Luftpumpe, also als Hemm- und Bremsmittel. Allein auch dieses bedarf der Bedienung, wie der Dampfregler während der Bergfahrt. Einem Öffnen des Lufthahns entspricht ein rascheres Entweichen der verdichteten Luft, somit schnellere Fahrt, einem Schließen Verminderung der Geschwindigkeit. Da nun mit Verdichtung der Luft Entwicklung von Wärme verbunden ist und diese, sehr gesteigert, ein Erhitzen der Zylinderteile zur Folge hätte, so muß solchem durch Zuführen einer geeigneten Wassermenge vorgebeugt werden. Sobald also die Luftbremse zu voller Wirkung gekommen, ist der Kühlwasserzufluß entsprechend zu regeln, und zwar so, daß die verdichtete Luft in Form sichtbaren, aber nicht tropfenden Dampfes ausströmt. Zu viel Wasser beeinträchtigt die Bremswirkung, zu wenig bringt Erhitzen. Tritt nun im weiteren Verlauf der Rampe die Zahnstange hinzu, so handelt es sich zunächst um den richtigen Eingriff der Zahnräder in dieselbe. Hat sich der Zug der Einfahrt bis auf 50 m genähert, so wird die Steuerung in die Fahrtrichtung gelegt, der Lufthahn geschlossen und durch schwaches Öffnen des Reglers zu den Zahnrädern diesen eine mäßige Drehung gegeben. Sofort nach erfolgtem Eingriff wird der Regler wieder geschlossen, die Steuerung der Fahrtrichtung entgegen gestellt und nun beide Lufthähne, für Reibungs- und für Zahnradtriebwerk so weit geöffnet, bis die gewünschte Fahrgeschwindigkeit erreicht ist.

Von besonderer Wichtigkeit ist, daß gerade die Einfahrten im Gefälle nicht mit zu großer Geschwindigkeit genommen werden. Sollten daher während des soeben beschriebenen Verfahrens, das zwar nur wenige Sekunden dauert, die gewöhnlichen Zugbremsen die Fahrgeschwindigkeit nicht innerhalb der gewünschten Grenzen erhalten, so hätte der Heizer die Reibungsbremse der Lokomotive in Tätigkeit zu setzen, diese aber sofort wieder zu lösen, sobald die Luftbremsen ihre Wirkung aufnehmen.

Das Kühlwasser ist nun beiden Zylinderpaaren zuzuleiten.

Sollte aus irgend einem Grunde die eine oder andere Luftbremse nicht oder nur ungenügend wirken, so wäre die entsprechende Spindelbremse zu Hilfe zu nehmen. Wenn gleichwohl die Fahrgeschwindigkeit die vorgeschriebene Grenze zu überschreiten droht, so hätte der Führer mit der Dampfpfeife das Zeichen zum Anziehen der Wagenbremsen zu geben. Ganz unabhängig von den Lokomotivbremsen, und zwar regelmäßig auf allen Gefällen, soll die durchgehende Bremse der Wagen in Tätigkeit gesetzt und darin beständig erhalten werden. Damit wird erreicht, daß die Bremsmittel der Maschine nur zum Teil in Anspruch genommen sind und

zum anderen Teile dem Führer für alle Vorkommnisse als sicherer Rückhalt zur Verfügung stehen.

Nähert sich der Zug der Zahnstangenausfahrt, so wird die Zahnrad-Kühlwasserleitung gesperrt, der zugehörige Lufthahn ganz geöffnet und die Steuerung in die Fahrtrichtung gelegt, bis die Maschine die Zahnstange verlassen hat. Wenn das Gefälle noch weiter führt, so wird sofort die Steuerung wieder zur Fahrtrichtung entgegengestellt, oder nun auch die Luftbremse zum Reibungstriebwerk außer Wirkung gebracht, wenn das Gefälle überhaupt aufhört.

Auf den ersten Blick möchte es scheinen, als ob die Bedienung von zwei Vorrichtungen das Personal, namentlich den Führer, in ungewöhnlichem Maße in Anspruch nähme. Richtig ist, daß die Verwaltungen von Gebirgsbahnen im wohlverstandenen Interesse auf eine durchaus tüchtige und zuverlässige Beamtenschaft halten müssen; deren Anstrengung ist aber bei weitem nicht so stark wie auf den Tallinien mit ihren hohen Fahrgeschwindigkeiten. Wenn der Führer der Zahnradmaschine auch zwei Regler und auf der Talfahrt zwei Luftbremsen zu handhaben hat, so bleibt ihm doch für jede einzelne dieser Verrichtungen ungleich mehr Zeit als auf einer Eilzuglokomotive. Diese legt für gewöhnlich 70 und mehr Kilometer in der Stunde, also 20 m und darüber in der Sekunde zurück. Wenn daher irgend eine Verrichtung nur fünf Sekunden Zeit beansprucht, so legt die Maschine während dieser Zeit schon 100 m Weg zurück. Die Zahnradlokomotive, die sich mit 10—12 km Schnelligkeit bewegt, kommt in der gleichen Zeit nur um 15 m weiter, mit anderen Worten: der Führer hat hier zwischen der Wahrnehmung irgend einer Obliegenheit und dem Zeitpunkte ihrer Wirkung wohl sieben Mal soviel Zeit zur Durchführung, als bei den Schnellzügen der Talbahnen. Es steht also außer Zweifel, daß die Führung einer Zahnradmaschine mit einem hohen Maße von Ruhe und Umsicht vorgenommen und gerade deshalb die Betriebssicherung mindestens so sehr gewahrt werden kann, wie auf Talbahnen.

Wagen.

Die Wagen für Linien gemischten Betriebes entsprechen denen der gewöhnlichen Bahnen, werden zum Teil auch von diesen gestellt, weisen also selbstverständlich keine Eigentümlichkeiten auf. Es gehören hierher die Bahnen am Harz, Eisenerz-Vordernberg und Zolyombrézo, welche alle die Abt'sche Bauart zeigen. Wohl aber macht sich für diese Verhältnisse das auch für die gewöhnlichen Bahnen längst gefühlte Bedürfnis einer bewährten, durchgehenden Bremse für Personen- wie Güterwagen geltend.

Die Höllentalbahn, obgleich nur mit 58 v. T. größter Steigung angelegt und für den Durchgang gewöhnlicher Wagen bestimmt, hat in ihrem Bestande eine größere Anzahl von besonderen Wagen mit Zahnradbremsen, deren eine bestimmte Zahl in jedem Zuge eingestellt wird. Diese Anordnung ist kostspielig, bei der Anschaffung sowohl wie für die Unterhaltung, und erschwert und verteuert den Betrieb außerordentlich. Sie kann aber, wie die oben genannten Linien zeigen, bei richtiger Anlage der Bahn mit Sicherheit und größtem Nutzen vermieden werden. Es kommt dazu ein Grund, der sehr oft nicht genügend gewürdigt wird. So wirksam die Zahnradbremse für leichtere Züge ist, solange das Zahnrad die nötige Belastung besitzt, so zweifelhaft wird ihr Nutzen in einem schweren Zuge. Auch bei sorgfältiger Bauart des Bremsgestänges und bei gehöriger Aufmerksamkeit des Bremsers



ist so ein solches Rad leicht festgestellt. Die unmittelbare Folge ist, daß der ganze Zug im gleichen Augenblicke nun auch still stehen sollte, was bei der gewaltigen angesammelten lebendigen Kraft gar nicht möglich ist. Das betreffende Bremszahnrad wird in solchen Fällen durch den Schub unvermeidlich außer Eingriff gehoben und über die Zahnstange weggeschleift, wobei sehr leicht Entgleisungen eintreten können. Diese nicht zu unterschätzende Tatsache bildet für größere, außergewöhnliche Bahnen den Gesichtspunkt, von dem aus die zulässige, größte Steigung beurteilt werden soll.

Wo es sich um die Beförderung schwerer Züge handelt, sollte die größte Steigung auch in der Zahnstange jene Grenze nicht überschreiten, auf welcher gute Bremsen ohne Mithilfe der Zahnräder noch imstande sind, den ganzen Zug mit Sicherheit in der Gewalt zu behalten. Die Zahnräder der Lokomotiven bilden dann immer noch eine willkommene Beihilfe. Diese Grenze liegt nun je nach dem Klima zwischen 60 und 80 v. T. Auf stärkeren Steigungen sind die Wagen mit Zahnradbremsen auszustatten, bei jenen Bahnen, welche überhaupt durchgehende Bremsen besitzen, in diese einzubeziehen und gleichzeitig mit den gewöhnlichen Reibungsbremsen in Tätigkeit zu setzen.

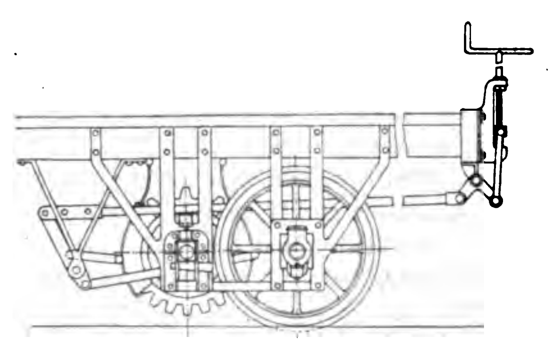


Abb. 59. Zahnradbremse für zweiachsige Wagen.

Einfacher gestaltet sich die Bremsfrage für reine Zahnradbahnen. Die Wagen derselben besitzen nur Zahnrad- und keine Reibungsbremsen. Ihre Anordnung ist verschieden. Einzelne Konstrukteure setzen das Zahnrad unmittelbar auf eine Laufachse, wobei selbstverständlich entweder dieses oder die beiden Laufräder lose sein

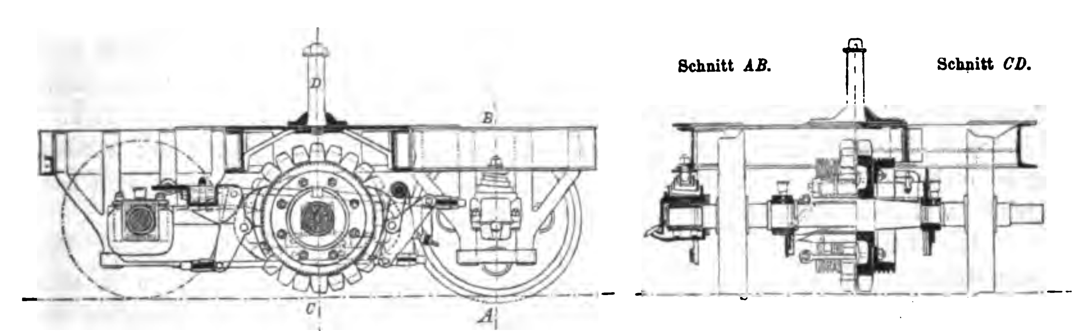


Abb. 60, 61. Zahnradbremse für vierachsige Wagen.

müssen. Diese Anordnung hat den Vorzug größter Einfachheit und Gewichtsersparnis, aber es wird dabei der Eingriff des Zahnrades mit der Abnutzung der Laufräder immer tiefer, die Radreifen werden daher nur wenig ausgenutzt werden können. In Wirklichkeit aber sind die hierdurch bedingten Kosten kleiner, als es scheinen möchte, weil die Abnutzung infolge Wegfalls der Reibungsbremsen und der geringen Radbelastung weniger stark ausfällt, als bei Wagen gewöhnlicher Bahnen. Andere wählten die vollkommenere, jedoch mit einem gewissen Mehrgewicht erkaufte Anordnung, bei der das Bremszahnrad auf einer eigenen Achse ruht, wie Abb. 59 für zwei-, Abb. 60 und 61 für vierachsige Wagen erkennen lassen.

Im übrigen zeigen die Wagen auch der reinen Zahnradbahnen gewöhnlichen Eisenbahnwagen gegenüber keine bemerkenswerten Eigenheiten, außer wiederum das sehr ausgesprochene Bestreben möglichster Gewichtsverminderung.

§ 10. Zahnradbahnen mit elektrischem Betrieb.

Die großartigen Fortschritte auf dem Gebiete der Elektrizität wurden begreiflicherweise auch für den Betrieb von Zahnradbahnen dienstbar gemacht.

Schon 1893 wurde von den Genfer Ingenieuren de Meuron und Cuénod auf den Mont Salève eine Zahnradbahn mit elektrischem Betriebe ausgeführt unter Verwendung der gerade durch ihre ruhige und sanfte Gangart besonders geeigneten Abt'schen Bauart. Diese Bahn hat 250 v. T. größte Steigung, engste Bogen von 35 m Halbmesser, bei einer Spurweite von 1 m.

Im Jahre 1895 entstand die mit Zahnstange gleicher Bauart ausgeführte elektrische Anlage in den Rima Murany-Salgo-Taryaner Werken mit gemischtem Betriebe, 1896/97 sodann eine solche am Endpunkte der Visp-Zermattbahn auf den Gornergrat bis zur Höhe von 3020 m, ebenfalls mit Abt'schem Oberbau, durch die Unternehmer Haag und Greulich hergestellt, eine 10 km lange Vergnügungsbahn mit Meterspur, 200 v. T. Größtsteigung und Bogen von 80 m Halbnesser.

Um die gleiche Zeit begann der Bau einer elektrischen Zahnradbahn nach der Jungfrau unter Verwendung der Zahnschiene von Strub, wovon 1905 5 km vollendet sind. Gleichzeitig wurde auch eine Bahn von Stansstad nach Engelberg von der Firma Locher & Cie. vollendet, mit einem kurzen Stück Leiterschiene.

Weitere elektrische Zahnradbahnen folgten: in Frankreich als Verbindung von Stadt Laon mit der Hauptbahn, in Lyon als Umbau der ehemaligen Seilbahn Saint Just; ferner in der Schweiz unter der Oberleitung von Professor Dr. A. Palaz die gemischte Reibungs- und Zahnradbahn von Bex-Gryon-Villars mit 200 v. T. größter Steigung, sowie die reine Zahnradbahn von Aigle nach Leysin, mit 230 v. T. größter Steigung, alle vier mit dem Abt'schen Zahnstangenoberbau, endlich die Bahnstrecken bei Triest und am Vesuv mit Zahnstange Strub mit 270 und 250 v. T.

Von diesen Bahnen mag jene auf den Gornergrat[1]) näher betrachtet werden, um so mehr als sie den ersten Versuch der Anwendung von Dreiphasenströmen zum Betriebe von Zahnradbahnen bildet und wegleitend für die folgenden war.

Der Anfangspunkt der Gornergratbahn befindet sich 1607 m über Meer. Der ganze Unterbau ist nach den für Bahnen ähnlicher Art bewährten Formen in sehr dauerhafter Weise ausgeführt. Der Oberbau zeigt für Schienen und Schwellen die bei gleicher Beanspruchung auch anderwärts verwendeten Formen und Zahnstangen mit zwei Platten.

Kraftbedarf.

Die regelmäßige Zugbelastung besteht aus einem vereinigten Motor- und Personenwagen und einem beigegebenen zweiten Personenwagen. Im ersten finden 60, im letzteren 50, zusammen 110 Personen Platz. Die Streckenbelastung ist vorgesehen zu zwei, in Zeitabschnitten von 10 Minuten aufwärts fahrenden Zügen und einem gleichzeitig talwärts gehenden, jeder mit voller Belastung. Die Geschwindigkeit

1) Die elektrische Zahnradbahn auf den Gornergrat, Schweizer. Bauzeitung, Band XXXI, Nr. 16 bis 21.

beträgt bergauf wie bergab für sämtliche Züge und Steigungen 7 km, das Zuggewicht bei voller Besetzung 28 Tonnen, nämlich:

Motorwagen	10,5	Tonnen
der damit verbundene Personenwagen . . .	4,2	„
der selbständige Wagen	5,0	„
110 Personen zu 75 kg	8,3	„
zusammen	28	Tonnen.

Es berechnet sich daraus der größte Zugwiderstand auf der Größtsteigung von 200 v. T. zu rund 6000 kg, die Leistung am Radumfange, bei 7 km Geschwindigkeit, zu 160 PS.

Unter Berücksichtigung der Arbeitsverluste in den Getrieben, Lagern usw. von zusammen 20 PS. müssen die beiden Stromerzeugungsmaschinen also im ganzen 180 PS. leisten.

Das Geschäft Brown Boveri & Cie. in Baden lieferte die elektrische Ausrüstung der Bahn. Der vorgeschriebene Wirkungsgrad der Motoren ist zu 91 v. H., derjenige der vollbelasteten Kontaktleitung zu 85 v. H., jener der Transformatoren zu 96 v. H., der vollbelasteten Speiseleitung zu 95 v. H. und derjenige der Generatoren endlich zu 92 v. H. berechnet. Daraus ergibt sich die in dem Elektrizitätswerk erforderliche Betriebskraft für einen vollbesetzten Zug zu 255 PS., für die Beförderung zweier gleichzeitig aufwärts sich bewegender Züge zusammen zu 510 PS. Diese Arbeit wird durch eine von der Firma Theodor Bell & Co. in Kries vorzüglich ausgeführte Turbinenanlage geliefert.

Zurzeit sind drei Girard-Turbinen, jede zu 250 PS. im Betriebe, das Turbinenhaus enthät jedoch noch Platz für die Aufstellung einer vierten. Das nutzbare Gefälle beträgt 100 m; die Umdrehungszahl 400 in der Minute. Wasser ist reichlich vorhanden. Der Umstand, daß durch gleichzeitig plötzliches Anhalten der in Bewegung stehenden zwei vollbelasteten Züge der Kraftbedarf zwischen 0 und 500 Pferdestärken schwanken kann, macht das Vorhandensein vorzüglicher Regler zum Bedürfnis. Die hierbei zur Ausführung gelangten Federpendelregler kommen dieser schwierigen Aufgabe in vollem Umfange nach. Um die damit verbundenen großen Schwankungen im Wasserzufluß unschädlich zu machen, wurde unmittelbar vor den Turbinen ein Windkessel in die Rohrleitung eingeschaltet. Derselbe ist mit einer kleinen, durch eine besondere Turbine angetriebenen Luftpumpe verbunden; er besitzt ein Leerlaufventil, welches sich öffnet, sobald die Wasserzufuhr zu den Turbinen durch deren Regler abgeschnitten wird. Durch Einschaltung einer Flüssigkeitsbremse (eines Kataraktes) wird bewirkt, daß sich dieses Ventil nach Wiederherstellung des regelmäßigen Zustandes langsam schließt.

Stromerzeuger (Generatoren).

Wie bereits erwähnt, wird die elektrische Energie in Form von Dreiphasenstrom erzeugt; die zu diesem Zweck aufgestellten Stromerzeuger sind mit den Hochdruckturbinen durch federnde Kuppelungen unmittelbar verbunden; ihre Erregung findet durch zwei, mittels besonderer, kleiner Turbinen angetriebene und mit diesen federnd gekuppelte Gleichstromdynamomaschinen statt.

Die Wechselstromerzeuger sind mit feststehendem Anker und umlaufendem, zwölfpoligem Magnetfeld aus Stahlguß gebaut. Man erhält demnach bei 400 Um-

drehungen einen Strom von 40 Wechseln in der Sekunde. Die Hochspannungswickelung befindet sich in Höhlungen des Ankereisens, welche mit nahtlosen Isolationsröhren ausgekleidet sind. Die erzeugte Spannung beträgt 5400 Volt.

Schalttafel.

Zwischen die Stromerzeuger und die Speiseleitung mit ihren Transformatoren ist die große Schalttafel gestellt, welche alle Vorrichtungen für Messung und Regelung der Ströme und die Vorrichtungen zum Nebeneinanderschalten der Dynamomaschinen übersichtlich angeordnet erhält.

Umformer (Transformatoren).

Von der Schalttafel aus führen dreifache Speiseleitungen die erzeugten hochgespannten Ströme zu drei Wechselstromumformern, aus deren Nebenwickelungen die Kontaktleitungen mit Strom versorgt werden. In den Umformern entwickeln die drei Hauptströme, von je 5400 Volt Spannung, drei Nebenströme von 540 Volt Spannung. Die regelmäßige Leistung der drei Umformer beträgt 180 Kilowatt; letztere bestehen aus sechs Einphasenumformern von 30 Kw., welche je zu zweien nebeneinander geschaltet sind; die dritte Gruppe zu zwei Umformern ist in Sternschaltung verbunden. Die Verteilung dieser drei parallel gestellten Umformerstationen längs der Bahnlinie ist so getroffen, daß der erste Umformer in dem Elektrizitätswerk, also auf km II steht, der zweite auf km V und der dritte auf km VIII. Die Hochspannungsleitung von dem Werk bis zum zweiten Umformer, bei km V, besteht aus drei Drähten von je 5,5 mm Durchmesser. Die dritte Umformerstation bei km VIII ist an diese Leitung durch drei Drähte von je 4 mm Durchmesser angeschlossen. Die Hochspannungsleitung läuft nicht der Bahn entlang, sondern nimmt den kürzesten Weg zu den beiden Umformerstationen. Sie kreuzt dabei die Bahnlinie an drei Punkten. Von den Umformerstationen 1 und 3 werden je zwei Speisedrähte von 8 mm Durchmesser zu den Endpunkten der Kontaktleitung geführt.

Kontaktleitung.

Die zwei Kontaktdrähte haben einen Durchmesser von 8 mm; sie sind durchweg an Queraufhängungen befestigt, welche in Abständen von 25 m auf je zwei Holzstangen angebracht sind. Die Schienen bilden den dritten Leiter und haben zu diesem Zwecke an den Schienenstößen Verbindungen aus Kupferdraht und Querverbindungen erhalten. Die Kontaktleitung ist auf Stationen und Ausweichestellen mit Luftweichen versehen.

Die elektrische Lokomotive.

Dieselbe ruht mittels Federn, deren Spiel begrenzt ist, auf zwei Achsen. Die beiden Drehstrommotoren von je 90 Pferden machen 800 Umdrehungen in der Minute und haben 500 Volt Spannung. Auf jeder Motorachse sitzt ein kleines Zahnrad mit schräg gestellten Zähnen; dieses greift in ein größeres, außerhalb des Rahmens gelagertes Zwischenrad ein. Auf der Achse dieses letzteren sitzen noch zwei weitere, kleinere Zahnräder, welche in zwei Räder mit rechtwinklig gestellten Zähnen eingreifen. Die Achse des letzteren Paares trägt gleichzeitig auch das eigentliche Zahntriebrad, das in die Zahnstange eingreift. Das ganze Übersetzungsverhältnis beträgt



1 : 12. Die beiden Dynamomaschinen sind als asynchrone Dreiphasen-Wechselstrom-Motoren ausgeführt. Sie besitzen einen gewickelten Anker und Schleifringe, sind demnach zur Einschaltung eines Widerstandes im Ankerstromkreise eingerichtet. Auch bei voller Belastung laufen sie an, ohne mehr Strom zu verbrauchen, als bei durchschnittlicher Belastung.

Der Anlaufwiderstand ist über den Triebwerken angeordnet; durch Einschaltung in den Ankerstromkreis gestattet er eine Veränderung der Geschwindigkeit. Der Umschalter, sowie sämtliche Sicherheits- und Meßvorrichtungen sind an passenden Stellen der Wände und des Daches untergebracht. Über dem Dache befindet sich die Stromabnahmevorrichtung. Die doppelte Anordnung der letzteren bezweckt, Stromunterbrechungen an den Aufhängestellen und beim Befahren der Weichen zu vermeiden.

Durch die besonderen Eigenschaften der Dreiphasenmotoren wird ohne weiteres auf allen Stellen der Bahn die Geschwindigkeit unveränderlich erhalten.



Abb. 62. Vollständiger Zug der Gornergratbahn.

Außerdem ist aber noch eine elektrische Geschwindigkeitsbremse vorhanden, welche selbsttätig in Wirksamkeit tritt, sobald aus irgend einem Grunde die Fahrgeschwindigkeit einen bestimmten Größtwert überschreiten, oder der Strom unterbrochen werden sollte, aber auch vom Führer und ebenso von dem auf dem Wagen befindlichen Schaffner in Bewegung gesetzt werden kann; endlich zwei kräftige Spindelbremsen, welche, unabhängig voneinander, auf beide Zahntriebachsen wirken und durch Anziehen diese festzustellen vermögen.

Personenwagen. Abb. 62.

Der mit zum Motor gehörige Personenwagen ruht mit seinem unteren Ende auf diesem und ist mit demselben pendelartig verbunden. Mit seinem oberen Ende liegt er auf einem zweiachsigen Untergestelle. Durch diese Anordnung ist das Eigengewicht vermindert, ein Teil des verbleibenden aber zur Belastung des Motors



und damit auf die Sicherung des Zahneingriffes verwendet. Dieser Wagen hat einen geschlossenen Kasten mit 60 Sitzen, ist im übrigen ohne besondere Merkmale. Der Beiwagen enthält 50 Sitze, ist offen und zweiachsig. Eine der Achsen trägt gleichzeitig ein Bremszahnrad. Dieser Wagen wird nur bei starkem Verkehre beigegeben. Abb. 62 (S. 59) zeigt einen vollständigen Zug der Gornergratbahn, mit Motor samt den beiden Wagen.

Betrachtungen.

Es ist natürlich, wenn gerade im Gebirge, dem Arbeitsfelde der Zahnradbahnen, wo gleichzeitig auch viele Wasserläufe vorkommen, die bisweilen mit verhältnismäßig geringen Kosten tausende von Pferdestärken ergeben und welche beim heutigen Stande der Elektrotechnik mit geringen Kosten kilometerweit geleitet werden können, bei der Anlage einer Bahn in erster Linie an den elektrischen Betrieb gedacht wird.

Heute aber noch werden damit nur ausnahmsweise finanzielle Vorteile gegenüber dem bisherigen Dampfbetriebe zu erreichen sein. Die Auslagen für Vorstudien, Geldbeschaffung, Landerwerb, Unter-, Ober- und Hochbau sind für beide Betriebsarten dieselben, ebenso für die Wagen. Selbst die elektrischen Motoren sind heute noch nicht billiger zu haben als gleichstarke Dampflokomotiven. Für die elektrisch betriebene Bahn kommen nun aber ferner hinzu: die Kosten für Wassererwerbung, Fassung, Anlage des Kanals oder der Rohrleitung, der Turbinen und des Elektrizitätswerkes. Es ist das, auch für mittlere Verhältnisse, eine Gesamtausgabe von ungefähr 200000 bis 300000 Mk. Dann weiter die Ausgaben für Anlage der Starkstromleitung zu verschiedenen Stellen der Bahn, die Umformstationen und endlich für die eigentliche Leitung über die ganze Linie, also wohl 20—30000 Mk. für 1 km Bahnlänge.

In der Anlage ist demnach eine elektrisch betriebene Bahn wesentlich teurer als eine Dampfbahn.

An Betriebskosten kann bei ersterer der Heizerlohn erspart werden; für Wartung des Elektrizitätswerkes und was damit zusammenhängt, muß aber mindestens ebenso viel gerechnet werden. Gleich verhält es sich mit dem Unterhalte des mechanischen Teiles. Ein wirkliche Ersparnis dagegen wird durch den gänzlichen Wegfall des Kohlenverbrauchs erzielt, so daß da, wo sich, wie bei der Gornergratbahn, eine reiche Wasserkraft mit verhältnismäßig geringen Kosten gewinnen läßt, während gleichzeitig das Brennmaterial sehr teuer zu stehen kommt, der elektrische Betrieb auch hinsichtlich des Kostenpunktes den Vorzug verdient. Dazu kommt beim elektrischen Betriebe die gänzliche Abwesenheit von Rauch und Dampf und von Geräusch aller Art. Erschwerend hinwiederum wirkt, daß die Leistung einer elektrischen Bahn nachträglich nur mit bedeutenden Opfern erhöht werden kann. Um diese Schwierigkeit zu vermeiden, muß daher gleich anfangs die Anlage für die — wenn auch erst nach Verlauf von vielen Jahren zu erwartende — Größtleistung eingerichtet und bemessen werden.

Das Bedenklichste ist die vollständige Abhängigkeit des ganzen Betriebes von einer einzigen Kraftquelle. Tritt hier eine Störung ein, so liegt der Betrieb der ganzen Linie lahm. Um dieser Möglichkeit zu begegnen, hat sich darum gerade die Gornergratbahn-Gesellschaft gleich anfangs entschlossen, eine Dampfzahnradlokomotive anzuschaffen. Schon während des Baues hat diese für die Beförderung der Materialien die vorzüglichsten Dienste geleistet und bildet jederzeit einen beruhigenden Rückhalt,



wenn plötzliche Störungen eintreten, was für derartige Bahnen, deren Haupteinnahmen auf wenige Wochen zusammengedrängt sind, sonst von tiefgehenden Folgen sein könnte.

§ 11. Eigenartige Einzelheiten verschiedener Zahnstangenbahnen.

Kloses Lokomotive für St. Gallen-Gais. Abb. 63 und 64.

Ein größerer Teil der Linie St. Gallen-Gais befindet sich auf der gewöhnlichen Straße, wobei Bogen bis hinunter zu 30 m Halbmesser vorkommen.

Der Betrieb wird mit vier Maschinen, drei leichten und einer späteren, etwas schwereren besorgt. Letztere hat ein Dienstgewicht von 35 Tonnen, wovon 23 Tonnen auf zwei Reibungsachsen, 12 Tonnen auf eine hintere Laufachse entfallen. Diese trägt das ganze Tendergestell, das mittels zweiarmigen Hebels und Gelenk unter dem Aschenkasten mit dem Hauptrahmen verbunden ist. Der Antrieb der Reibungsräder erfolgt nicht unmittelbar, sondern unter Anwendung der den Klose'schen Maschinen eigentümlichen, in der Ebene der Kurbelzapfen gelegenen Winkelhebel und von hier aus durch zwei zwangläufig angeordnete Kuppelstangen. Durch diese Einrichtung wird die Maschine befähigt, trotz verhältnismäßig großen Achsstandes, enge Bogen ohne besondere Widerstände zu durchlaufen, was durch beträchtliche Spurerweiterung und eine Radreifenbreite von 175 mm noch vollends möglich gemacht wird.

Das Zahntriebrad wird durch ein eigenes, unter der Rauchkammer angeordnetes Zylinderpaar angetrieben, unter Zuhilfenahme einer Vorgelegewelle und eines Gelenkrahmens, dessen Führung und Verbindung mit dem Hauptrahmen nach ähnlichen Gesichtspunkten durchgeführt ist, wie der Antrieb der Reibungsachsen. Sämtliche vier Zylinder haben gleichen Hub und gleiche Weite. Direkte Dampfzufuhr findet nur für die Reibungszylinder statt. Auf den Zahnstangenstrecken wird von diesen der Dampf zu den Zahnradzylindern geleitet, so daß dann Verbundwirkung eintritt.

Als Bremsmittel sind vorhanden: Einrichtung beider Zylinderpaare als Luftbremse, eine auf die Laufachse wirkende Spindelbremse, sowie eine ebensolche zu einem, auf der Laufachse sitzenden Zahnrade. Dieses letztere ist lose und besitzt zum Befahren der engen Bogen ein seitliches Spiel von 8 cm.

Hauptabmessungen.

Heizfläche der Feuerbüchse	6,0 qm
Gesamtheizfläche	94,0 „
Rostfläche	1,4 „
Siederohrlänge	4,0 m
Dampfspannung	12 Atm.
Zylinderweite	360 mm
Kolbenhub	400 „
Speisewasser	3000 l
Kohlen	1000 kg
Triebraddurchmesser	800 mm
Radstand der Reibungsradachsen	3000 „
Gesamter Radstand	6000 „
Dienstgewicht	35 t
Gezogene Last auf 90 v. T.	62 „

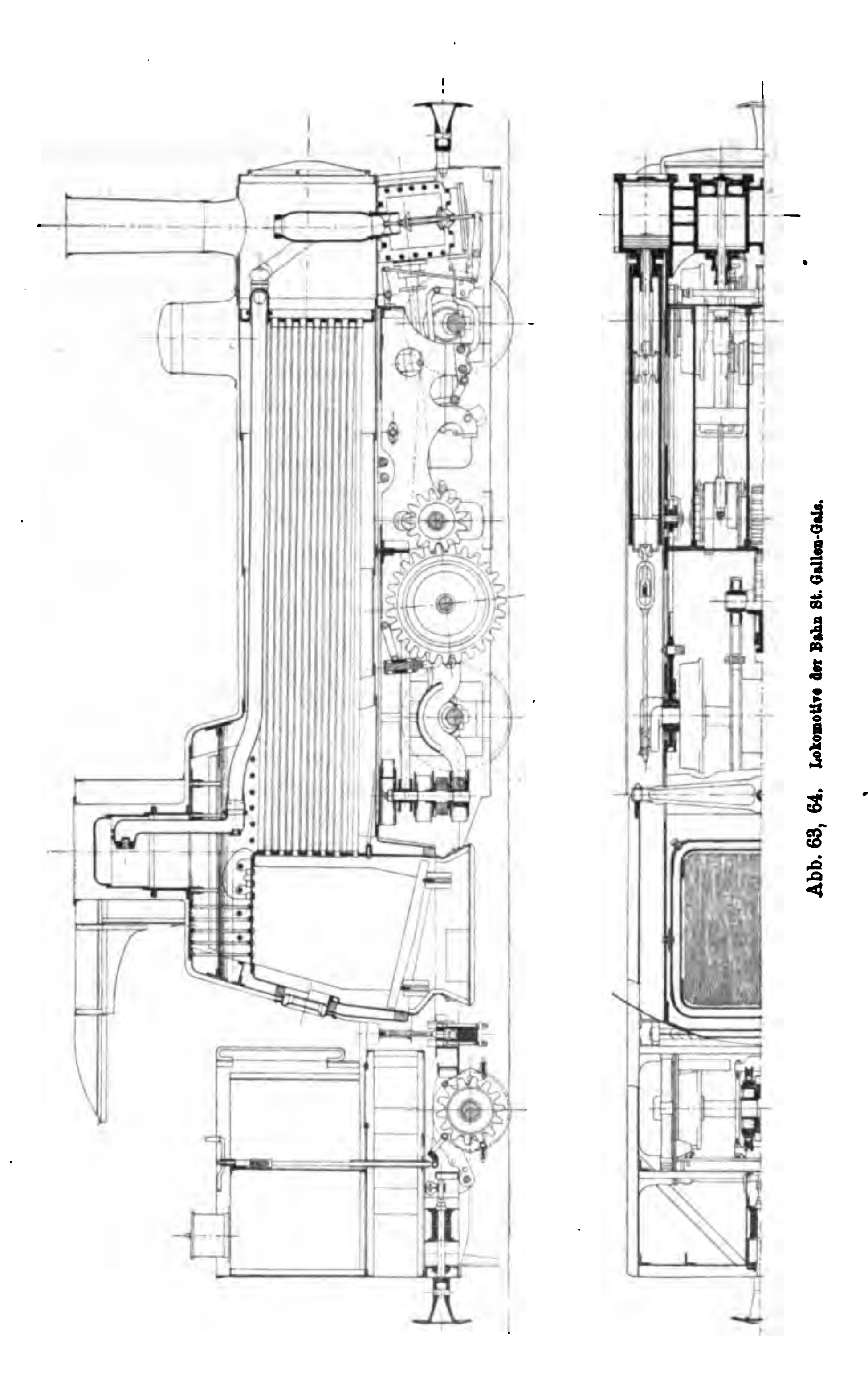


Abb. 63, 64. Lokomotive der Bahn St. Gallen-Gais.

Zahnradlokomotive der schweizer. Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur für Gais-Appenzell. Abb. 65.

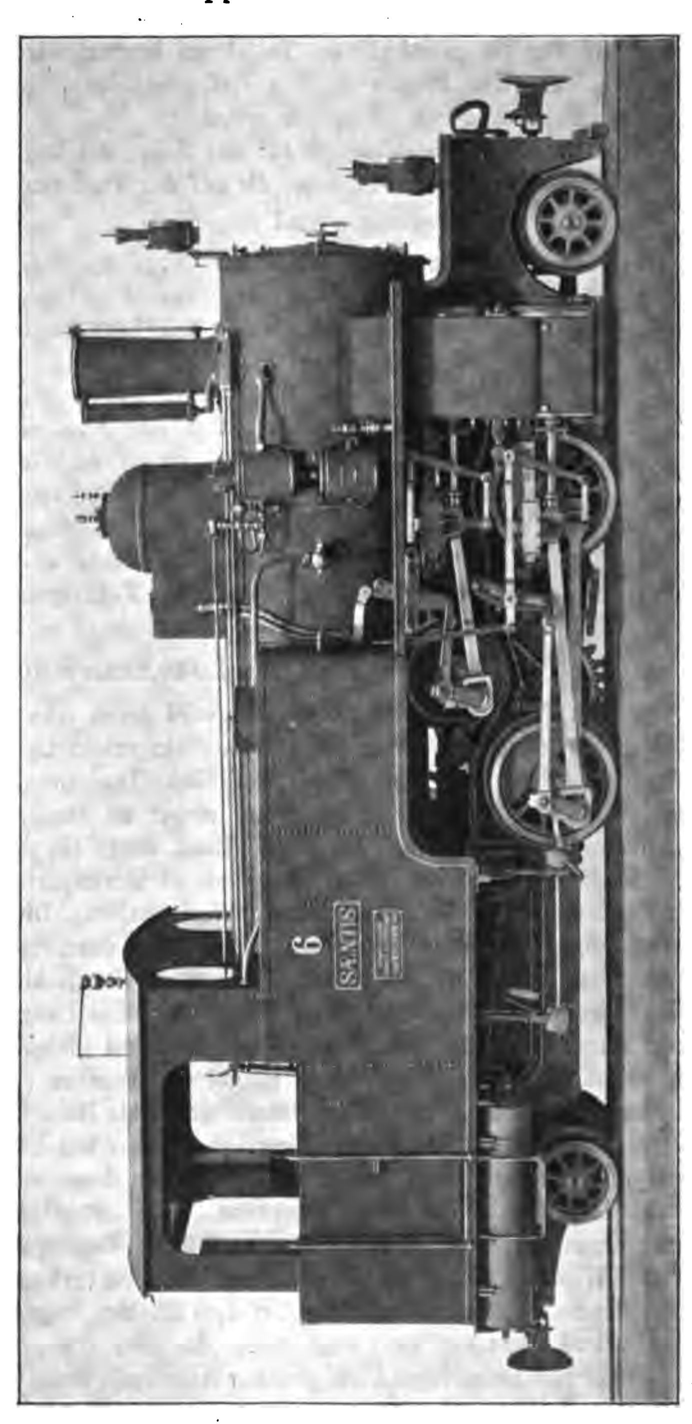


Abb. 65. Lokomotive der Bahn Gais-Appenzell.

Für die im Jahre 1904 vollendete, gemischte Zahnradbahn Gais-Appenzell, eine Verlängerung der Linie St. Gallen-Gais hat die schweizer. Lokomotiv- und Maschinenfabrik in Winterthur eine neue vierzylindrige Reibungs- und Zahnradmaschine gebaut. Nach der Schweizer. Bauzeitung vom 17. Juni 1905 ist die Arbeitsweise dieser Lokomotiven folgende: Auf den Reibungsstrecken arbeiten die unteren Zylinder allein, der gebrauchte Dampf strömt unmittelbar durch das Blasrohr aus. Kommt die Lokomotive auf eine Zahnstangenrampe, so wird durch Verstellen eines Umschalthahns der Dampf aus den unteren Zylindern nach den oben liegenden Zahnradzylindern geleitet, wo er weiter arbeitet, um dann erst zum Blasrohr zu gelangen. Die Lokomotive arbeitet also auf der Zahnstange in Verbundwirkung, wobei die Reibungszylinder die Hochdruckzylinder, die Zahnradzylinder die Niederdruckzylinder bilden. Um für die Verbundwirkung das richtige Verhältnis der Zylinderinhalte herzustellen, sind die Zylinder genau gleich bemessen, dagegen laufen die Zahnradkolben 2,2 mal schneller als die andern. Um

auch auf der Zahnstange anfahren zu können, wird Kesseldampf unmittelbar in die Niederdruckzylinder geleitet.

Die Lokomotive ist mit folgenden Bremsen ausgerüstet:

a. Eine Luftbremse, die auf Verbund- oder Einfachwirkung gestellt werden kann und für die gewöhnlichen Talfahrten benutzt wird;

b. eine Klotzbremse zu den Reibungsrädern, die sowohl mittels Schraubenspindel, als auch durch Luftdruck arbeitet;

c. eine Kurbelachsbremse für das Zahngetriebe;

d. eine Zahnrad-Notbremse, die auf der vorderen Reibungsachse angebracht ist.

Die Hauptabmessungen sind folgende:

Reibungsraddurchmesser	815 mm
Zahntriebraddurchmesser	860 „
Übersetzungsverhältnis	1 : 2,21
Zylinderdurchmesser	370 mm
Kolbenhub	400 „
Dampfdruck	14 Atm.
Rostfläche	1,26 qm
Heizfläche	27,5 „
Dienstgewicht	33,6 t
Reibungsgewicht	22,0 „
Gezogenes Zuggewicht auf 90 v. T. Steigung	60 „

Lochers Oberbau und Lokomotive der Pilatusbahn.

Der Bahnkörper der Pilatusbahn wird durch eine durchlaufende Mauer gebildet. Für diese Bauart ist der ganze Oberbau eingerichtet. Derselben lag das Bestreben zugrunde, nicht nur gegen die gewöhnliche Inanspruchnahme, sondern auch gegen heftige Windstöße den Zug genügend sicher zu stellen. Zu dem Zwecke sind die Querschwellen, Abb. 37, S. 19, aus ⊓Eisen, deren Rippen abwärts schauen, nicht, wie üblich, aufgelegt, sondern auf Rippentiefe in Granitplatten eingelassen und außerdem an ihren Enden durch zwei Schrauben festgehalten. Diese aber sind die Enden einer Rundstange, welche unter dem Mauerkörper durchreicht und den Oberbau damit verankert. Auf den Querschwellen ruhen die Laufschienen in Längen von 6 m mit ungewöhnlich hohem schlanken Querschnitte. Die Längsverbindung der Schienen erfolgt durch Winkellaschen, deren liegende Flügel gleichzeitig auch mit den Schwellen verschraubt sind. Die stehenden Flügel der Laschen reichen aber nicht, wie üblich, bis zum Schienenkopfe, sondern lassen eine freie Höhe von 30 mm zum ungehinderten Durchgange von klauenförmigen Schuhen, welche mit dem Untergestell des Fahrzeuges entsprechend verbunden sind und ein Abheben desselben auch beim heftigsten Winde verhindern. In der Bahnachse liegt eine ⅃‾‾‾L förmige Langschwelle. Sie ruht über jeder Querschwelle auf einem kräftigen ⊓Eisen, dessen Rippen nach unten gekehrt und mittels Winkel und Nieten mit den Querschwellen verbunden sind. Diese Langschwelle dient einem doppelten Zwecke. Auf dem Rücken trägt sie die festgeschraubte Zahnstange und dient mit zwei unmittelbar darunter stehenden Flächen zwei, gleich den Zahnrädern, wagerecht und auf gleicher Achse mit ihnen gelagerten Rollen als Führung.

Die Zahnstange besteht aus 3 m langen, beiderseitig verzahnten Stäben aus weichem Stahl bei 40 mm Zahnbreite und 88,7 mm Teilung. Alle Zahnstangenstücke



wurden in geradem Zustande gefräst, nachher die für die Krümmungen bestimmten Stücke auf den vorgeschriebenen Halbmesser gebogen.

Für eine Bahn von 480 v. T. Steigung und Dampfbetrieb konnte nur die weitgehendste Verminderung des Eigengewichtes eine noch in Betracht kommende Nutzlast ermöglichen. Aus diesem Grunde wurden Motor und Wagen in ein zweiachsiges Fahrzeug vereinigt, dessen obere Achse den größten Teil des Wagens, dessen untere den Rest und die ganze Lokomotive trägt. Damit wurde ein Eigengewicht des ganzen Zuges samt Maschine von nur 8,5 Tonnen erreicht, bei einer Leistung von 80 PS.

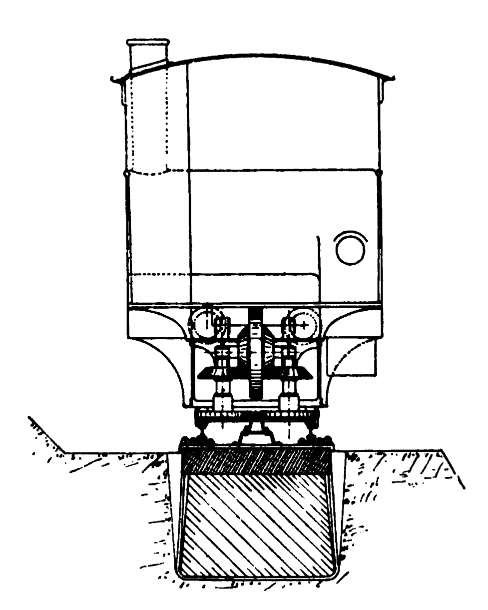


Abb. 66. Lokomotive der Pilatusbahn.

Der Kessel dieser Maschine, Abb. 66, ist quer zur Bahnachse gestellt. Er liefert den Dampf zu zwei in der Richtung der Bahn unter dem Führerstande gelagerten Zylindern. Diese bewegen eine Kurbelachse mit Zahngetriebe. Dasselbe greift in ein größeres Zwischenrad ein, an dessen beiden Seiten kegelförmige Zahnräder mit Hilfe gelenkartiger Einlagen befestigt sind, welche innerhalb bestimmter Grenzen eine gewisse Verschiebung gestatten und damit ungleiche Abwicklung der beiden Zahntriebräder in den Bogen ausgleichen. Diese kegelförmigen Zahnräder greifen in zwei weitere, auf lotrechten Achsen gelagerte ein. Auf eben diesen Achsen stecken auch die Zahntriebräder und darunter die schon erwähnten liegenden Führungsrollen.

Heizfläche der Maschine	20 qm
Dampfdruck	12 Atm.
Zylinderdurchmesser	220 mm
Kolbenhub	300 „
Umdrehungen der Kurbelwelle in der Minute .	180
Durchmesser des Triebrades	411 mm
Zahnteilung.	88,7 „
Anzahl der Sitzplätze	32
Größte Breite des Fahrzeuges.	2,2 m
„ Länge	10,4 „
Radstand.	5,2 „
Gewicht des leeren Zuges	8,5 t
„ von 32 Personen und 3 Angestellten .	2,5 „
zusammen	11 t.

Als Bremsvorrichtungen sind vorhanden: Die Luftbremse der Zylinder, eine auf der Kurbelachse angebrachte gewöhnliche Reibungsbremse, sowie eine selbsttätige auf die Zahnräder der unter dem oberen Wagenende befindlichen Achse wirkende Reibungsbremse. Die Einrichtung der letzteren ist folgende: Auf den

Achsen der beiden oberen Zahnräder stecken Schneckenräder, welche in zwei, lose auf einer gemeinschaftlichen Achse sitzende Schnecken eingreifen. Beim Aufwärtsfahren bleiben diese Schneckenräder stehen, während die Zahnräder sich lose um ihre Achsen drehen, beim Abwärtsfahren dagegen werden sie und damit auch die Schnecken durch eine Klauenkuppelung mitgedreht. Letztere machen dadurch bei gewöhnlicher Fahrgeschwindigkeit des Zuges 300 Umdrehungen in der Minute. Auf dem einen Ende der Schneckenwelle befindet sich eine Bremsscheibe, welche durch entsprechende Einrichtungen sowohl vom Führerstande aus, als auch von dem auf der oberen Plattform des Wagens stehenden Schaffner bedient werden kann. Angesichts der hohen Übersetzungsverhältnisse genügt schon eine sehr geringe Bremswirkung, um den Zug anzuhalten. Allein ganz unabhängig von der Bedienung durch die Beamten tritt diese Bremse auch selbsttätig in Wirksamkeit, sobald eine gewisse Fahrgeschwindigkeit überschritten ist. Am anderen Ende der Schneckenwelle befindet sich nämlich ein Geschwindigkeitsregler, der durch Fliehkraft bewegt, das Anziehen der Bremse bewirkt, sobald die Schneckenwelle die Umdrehungszahl von 300 wesentlich übersteigt.

Lokomotiven der Zahnradbahn Rorschach-Heiden, Bauart Riggenbach. Abb. 67 und 68.

Die Zahnradbahn von Rorschach nach Heiden war ursprünglich als reine Zahnradbahn ausgeführt. Wohl befindet sich zwischen dem Fuße der Zahnstange und dem Bahnhofe Rorschach noch ein längeres, den Vereinigten Schweizerbahnen gehörendes Stück Reibungsbahngleis, doch bestand die Meinung, daß die Züge der

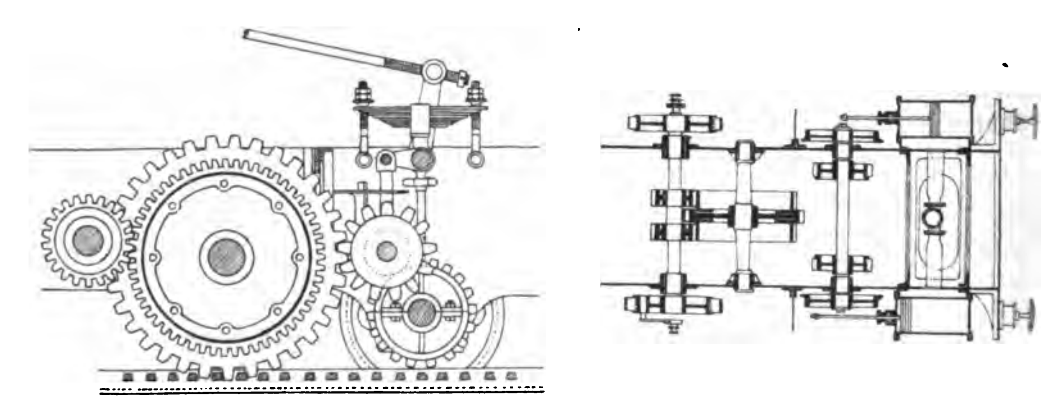


Abb. 67, 68. Lokomotive der Bahn Rorschach-Heiden.

Bergbahn auf dieser Strecke durch die gewöhnlichen Maschinen jener Gesellschaft befördert werden sollten. Der Ertrag der Bahn gestaltete sich aber nicht derart, daß dieser etwas umständliche Betrieb aufrecht erhalten werden konnte man entschloß sich daher, durch Umgestaltung der reinen Zahnradmaschine in eine gemischte, diese zu befähigen, den Dienst auch auf der Reibungsbahn zu besorgen. Diese Maschinen waren ursprünglich ähnlich gebaut, wie jene der Bahnen Arth-Rigi, Schwabenberg, Drachenfels usw. Sie ruhten auf zwei Laufachsen. Das Dampfzylinderpaar setzte eine vor der Feuerbüchse gelagerte Zwischenachse in Umdrehung, deren Kurbeln gleichzeitig Gegengewicht und Bremsscheibe waren und zwei Zahngetriebe trugen,

welche in zwei seitlich an das eigentliche Zahntriebrad angeschraubte Zwischenräder eingriffen. Zur Erhöhung der Sicherheit wurde nachträglich hinter der unteren Laufachse noch ein Zahnrad mit Bremseinrichtung angebracht.

Um nun zu erzielen, daß diese reine Zahnradmaschine sich auch mittels Reibung vorwärts bewegen könne, wurden auf die obere Laufachse zwei Zahngetriebe gekeilt, darüber eine Hilfsachse bei entsprechender Führung und Verbindung mit den Tragfedern gelagert, welche gehoben und gesenkt werden kann. Diese Achse trägt drei Zahngetriebe, in der Mitte ein solches, das stets mit dem Zahntriebrade in Eingriff bleibt, sich also auch immer mitdreht, gegen die Enden hin zwei weitere, welche durch Senken der Achse mit dem Zahnrade der Laufachse zum Eingriff kommen, diese alsdann mitdrehen und zur Triebradachse machen, während in gehobenem Zustande der Hilfsachse jede Verbindung zwischen Dampfmaschine und Laufachse aufgehoben ist. Dieser Zustand herrscht während der Fahrt auf der Zahnstange. Hat die Maschine aber diese verlassen, dann wird, so lange die lebendige Kraft den Zug noch vorwärts bewegt, vom Führerstande aus durch Senken der Hilfswelle der Eingriff zwischen den Zahngetrieben hergestellt und dann die Dampfmaschine wieder in Tätigkeit gesetzt. Dabei dreht sich das Zahnrad zwar in der Luft, überträgt aber durch die erwähnte Zahnübersetzung die Bewegung auf die vordere Laufachse und bewirkt damit die Fortbewegung des Zuges.

Die Maschinen der Bahn Rorschach-Heiden sind vollspurig, haben eine

Gesamtheizfläche von	56,0	qm
Rostfläche	1,04	„
Unmittelbare Heizfläche	5,84	„
Dampfdruck	10	Atm.
Zylinderdurchmesser	300	mm
Kolbenhub	500	„
Durchmesser der Zahngetriebe	372	„
„ „ Zwischenräder	890	„
„ des Zahntriebrades	1050	„
„ der Laufräder	890	„
Radstand	3000	„
Leergewicht	16000	kg
Speisewasser	1750	„
Kohlen	750	„
Dienstgewicht	21000	„
Gezogene Last auf 90 v. T.	36	Tonnen.

Im Jahre 1903 wurde eine neue Lokomotive angeschafft, bei welcher nun die vordere Tragachse durch ein eigenes Zylinderpaar angetrieben wird.

Lokomotiven der Brünigbahn. Abb. 69.

Zur Verbindung der vielbesuchten Fremdenplätze Luzern und Interlaken wurde 1887 eine Zahnradbahn über den Brünig dem Betriebe übergeben. Der weitaus größte Teil dieser Linie ist gewöhnliche Reibungsbahn, so namentlich die beiden Enden von Brienz bis Meiringen jenseits und Luzern bis Lungern diesseits des Berges. Diese Teile werden denn auch durch gewöhnliche Reibungsmaschinen betrieben. Die eigentliche Überschreitung des Brünig aber machte die Anwendung

von 120 v. T. Steigung und damit die Zuhilfenahme der Zahnstange nötig. Immerhin sind auch hier einzelne Strecken von geringerer Steigung, welche mit Vorteil ohne Zahnstange betrieben werden können. Man entschloß sich daher zum Betriebe dieses Mittelstückes zur Anschaffung von Lokomotiven gemischer Bauart. Dieselben sind zweiachsig mit zwei Zylindern und steifer Kuppelung zwischen Trieb- und Zahnrad. Das Zylinderpaar ist unter der Rauchkammer zwischen den Rahmen gelagert, treibt mittels Schubstange eine Vorgelegewelle mit zwei Zahngetrieben, die ihrerseits in entsprechende, seitlich an das Zahntriebrad angeschraubte Zwischenräder eingreifen. Diese Achse trägt an ihren Enden zwei Kurbeln. Eine steife Kuppelstange überträgt von hier aus die Bewegung auf die beiden Reibungsachsen der Maschine.

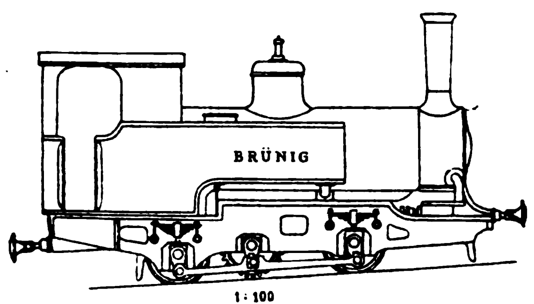


Abb. 69. Lokomotive der Brünigbahn.

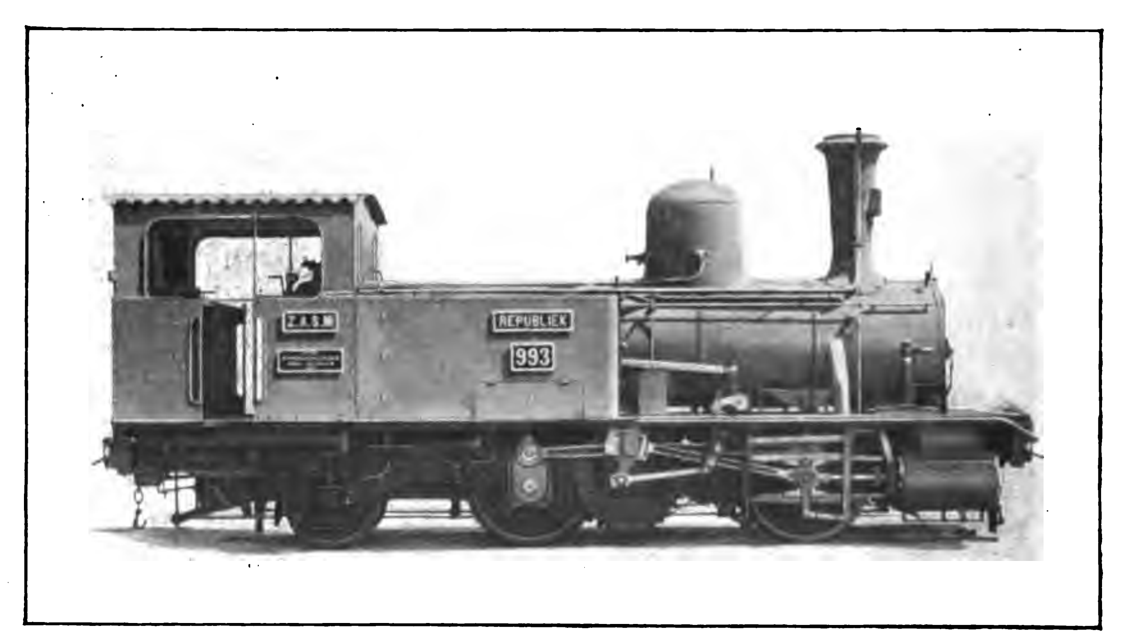


Abb. 70. Lokomotive für Transvaal.

Die Spurweite dieser Maschinen beträgt 1 m.

Heizfläche der Feuerbüchse	4,2 qm
„ „ Siederohre	50,5 „
„ zusammen	54,7 „
Dampfspannung	12 Atm.
Zylinderdurchmesser	330 mm
Kolbenhub	480 „
Durchmesser der Triebräder	806 „
Radstand	2400 „

Dienstgewicht	23000 kg
Leergewicht	18600 „
Speisewasser	2400 „
Kohlen	450 „
Zuggewicht auf 120 v. T.	35 Tonnen.

Ganz ähnliche Bauart zeigen die durch Abbildung 70 dargestellten Lokomotiven, welche von der Maschinenfabrik Eßlingen für Transvaal geliefert wurden.

Schneebergbahn.

Im Jahre 1897 wurde von Kommerzienrat Leo Arnoldi auf den Schneeberg in Niederösterreich eine Zahnradbahn nach Abt'scher Bauart vollendet. Sie bildet die Fortsetzung der vom gleichen Unternehmer von Wiener-Neustadt bis Puchberg gebauten Reibungsbahn. Sie beginnt an letzterem Orte 576 m ü. M., erreicht bei einer Länge von rund 10 km die Höhe von 1791 m, etwas unterhalb der höchsten Spitze des Schneeberges. Die Spurweite beträgt 1 m, die größte Steigung 200 v. T., die Krümmungen haben 80 m Halbmesser. Der Oberbau besteht ganz aus Eisen mit zweiteiliger Plattenzahnstange.

Gewichtsverzeichnis für 8,1 m Gleis mit Zahnstange der Schneebergbahn.

Stück	Gegenstand	Gewicht kg für 1 Stück	Gewicht kg zusammen
2	Schienen von 21,58 kg/m	176,58	353,16
10	Schwellen	35,00	350,00
2	Außen- Laschen	4,70	9,40
2	Innen- Laschen	5,00	10,00
8	Laschenbolzen	0,29	2,32
40	Klemmplättchen	0,27	10,80
40	Hakenschrauben	0,23	9,20
9	Zahnplatten	32,68	294,12
9	Laschen	0,43	3,87
18	Laschenbolzen	0,59	10,62
9	Zahnstangenstühle	6,76	60,84
18	Fußschrauben	0,38	6,84
76	Befestigungsringe	0,02	1,52
		Zusammen	1122,69
		Gewicht für 1 m	138,6

In jedem Zug werden zwei Personenwagen, jeder mit 50 Personen, befördert. Diese Wagen werden von zwei einfachen Laufachsen getragen bei einem Achs-

stand von 4,2 m. Das Eigengewicht eines Wagens beträgt 4000 kg, somit das ganze Gewicht eines vollbesetzten Zuges 16 000 kg ohne Lokomotive. Die allgemeine Anordnung der letzteren wird durch Abb. 71 dargestellt. Die Maschine ruht auf drei



Abb. 71. Lokomotive der Schneebergbahn.

Achsen. Davon sind zwei, unter dem Langkessel angeordnet, zugleich Lauf- und Triebachsen, indem in der Mitte der Achse die Zahnräder festgekeilt sind und durch die Kurbeln an den Enden in Drehung versetzt werden. Unmittelbar hinter den Kurbeln aber sitzen lose die Laufräder. Damit dieselben anstandslos über die Kurbeln samt Gegengewicht gebracht werden können, sind letztere nicht an die Kurbelachse geschmiedet, sondern angeschraubt, außerdem aber ist die Nabe der Laufräder durch eine angeschraubte zweiteilige Lagerhülse gebildet, wie Abb. 72 zeigt.

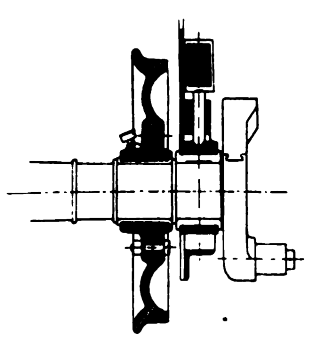


Abb. 72. Laufrad.

Beide Zahntriebachsen sind durch Stangen gekuppelt. In der Nähe des hinteren Auges dieser Stangen befindet sich der Angriffspunkt der Schubstange. Durch diese Anordnung ist erreicht, daß die Arbeit sich gleichmäßiger auf die beiden Zahnräder verteilt. Die Schubstangen erhalten ihren Antrieb von stehenden, einarmigen Hebeln, die mit ihrem unteren Ende unmittelbar vor dem oberen Laufrade ihren Drehpunkt finden, mit dem oberen Ende durch kurze Schubstangen mit dem Kreuzkopf und dem Dampfzylinder in Verbindung stehen. Unter dem Führerstande befindet sich die dritte, in ihrer Richtung verschiebbare Achse.

Hauptverhältnisse der Zahnradlokomotiven der Schneebergbahn.

Dampfdruck	14 Atm.
Heizfläche der Feuerbüchse	4,0 qm
„ „ Siederohre	35,8 „
„ im ganzen	39,8 „
Länge der Siederohre	2000 mm
Durchmesser, außen	38 „
Anzahl	150 „
Zylinderdurchmesser	320 mm
Kolbenhub	600 „
Zahntriebraddurchmesser	573 „
Laufraddurchmesser, vorn	706 „
„ hinten	520 „
Fester Radstand	1470 „
Gesamter Radstand	3170 „
Maschinengewicht, leer	13,8 t
Wasser im Kessel	1,3 „
Speisewasser	1,2 „
Kühlwasser	0,3 „
Kohlen	0,7 „
Dienstgewicht, größtes	17,5 „
„ mittleres	16,5 „
Zugkraft	7,2 „

Bosnisch-herzegowinische Staatsbahnen. Abb. 73.

Die bosnisch-herzegowinischen Staatsbahnen besitzen zwei Arten von Zahnradlokomotiven ähnlicher Anordnung, jedoch von verschiedener Stärke. Die ersten Lokomotiven sollten den damals vorhandenen Fahrzeugen, insbesondere deren Zug- und Stoßvorrichtung entsprechend, einen Wagenzug von 60 Tonnen über eine Strecke mit der größten Steigung von 60 v. T. befördern, zwei Lokomotiven zusammen einen Zug von 110 Tonnen. Die gemachten Erfahrungen ermutigten dann noch einen Schritt weiter zu gehen und Maschinen zu bauen, welche auf einer Rampe von 45 v. T. Züge von 120 Tonnen beförderten. Diese Maschinen werden durch Abb. 73 dargestellt. Die eigentliche Lokomotive wird von drei gekuppelten Triebradachsen getragen. Die stark überhängende Feuerbüchse ruht hinten auf einem Tendergestell mit zwei Achsen, dessen Rahmen durch zweiarmigen Hebel und Gelenke unter dem Achsenkasten mit dem Hauptrahmen verbunden ist. Ein außen liegendes Zylinderpaar treibt auf gewöhnliche Art die drei gekuppelten Reibungsradachsen.

Die Zahnradeinrichtung, durch Abb. 74 dargestellt, besteht aus zwei Zahntriebradachsen, welche in einem Rahmen gelagert sind, der an den beiden äußeren Reibungsradachsen hängt. Die zugehörigen Dampfzylinder befinden sich unter der Rauchkammer zwischen den beiden Reibungszylindern und zwar liegen die Zylinderachsen in der Mitte zwischen den beiden Achsenmitteln. Dementsprechend trägt der, durch zwei hintereinander angeordnete Lineale geführte Kreuzkopf zwei Zapfen. Der vordere entspricht der Lage des vorderen Zahnrades und dessen Kurbeln. Die

Abb. 73. Zahnradlokomotive der Bosnisch-herzegowinischen Staatsbahnen.

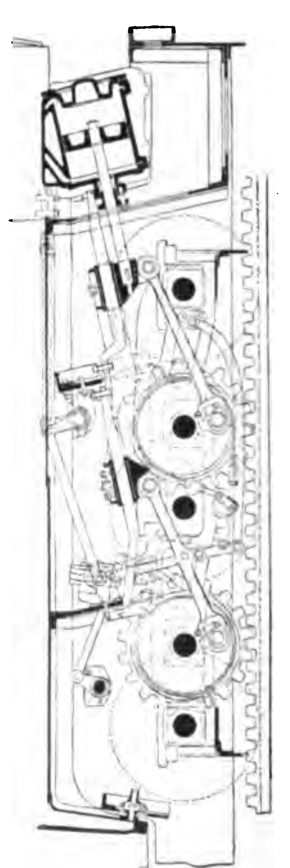


Abb. 74. Zahnradeinrichtung der Bosnisch-herzegowinischen Lokomotiven.

Verbindung ist durch eine gewöhnliche Schubstange hergestellt. Vom hinteren Zapfen des Kreuzkopfes geht in gleicher Weise eine Schubstange zum hinteren Zahnrad. Jede Zahnradachse wird also unmittelbar vom Kreuzkopfe aus angetrieben. Wie die Betriebsergebnisse zeigen, ist damit eine sehr gleichmäßige Verteilung der Arbeit auf die beiden Zahnräder erzielt. Die Hauptverhältnisse der neueren Maschinen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Hauptverhältnisse der Zahnradlokomotiven der Bosnisch-herzegowinischen Staatsbahnen.

Dampfdruck		12 Atm.
Heizfläche der Feuerbüchse		7,0 qm
„ „ Siederohre		82,0 „
„ im ganzen		89,0 „
Länge der Siederohre		3450 mm
Durchmesser der Siederohre, außen		42 „
Anzahl der Siederohre		180
	Reibung	Zahnrad
Zylinderdurchmesser	340	360 mm
Kolbenhub	450	360 „
Triebraddurchmesser	800	688 „
Laufraddurchmesser	650	— „
Fester Radstand	2340	1170 „
Gesamter Radstand	6840	1170 „
Maschinengewicht, leer		26,5 t
Wasser im Kessel		2,5 „
Speisewasser		3,5 „
Kühlwasser		0,5 „
Kohlen		3,5 „
Dienstgewicht, größtes		36,5 „
„ mittleres		33,0 „
Reibungsgewicht		24,0 „
Zugkraft, Reibung und Zahnrad		8,0 „

Beirut-Damaskus.

Im Jahre 1858 bildete sich in Paris unter der Leitung des Grafen von Perthuis eine Gesellschaft zur Anlage einer Handelsstraße von Beirut über den Libanon nach Damaskus. Am 1. Januar 1863 konnte dieser Bau dem Betriebe übergeben werden. Mit den Jahren nahm der Verkehr in so erfreulicher Weise zu, daß die gut angelegte Straße kaum mehr genügen konnte und zum Baue einer Eisenbahn geschritten werden mußte. 1892 begonnen, wurde diese 146 km lange Linie im Sommer 1895 dem öffentlichen Verkehr übergeben.

Die Spurweite beträgt 1050 mm. Die Bahn ist als vereinigte Reibungs- und Zahnradbahn nach Abt durchgeführt, mit stärksten Steigungen von 25 v. T. für die Reibungs- und 70 v. T. für die Zahnstangenstrecken. Das größte Zuggewicht beträgt 100 Tonnen. Der Gipfelpunkt liegt 1480 m über dem westlichen Ausgangspunkte Beirut, 37 km davon entfernt. Auf der ganzen Länge kamen eiserne Schwellen

zur Anwendung, dazu Stahlschienen von 116 mm Höhe und 27 kg Gewicht für das Meter, mit Klemmplättchen und Hakenschrauben auf die Schwellen befestigt. Die Zahnstange, aus zwei Platten von 26 mm Dicke bestehend, ruht auf Gußstühlen. Im ganzen sind 16 Zahnstangenstrecken mit zusammen 32 km Länge vorhanden. Das Gewicht eines Meters Zahnstangenoberbau beträgt

152,7 kg.

Die Zahnradlokomotiven besitzen drei gekuppelte Reibungsachsen, wovon die mittlere durch die außen liegenden Zylinder angetrieben wird. Unter dem Führerstande befindet sich eine in ihrer Richtung verstellbare Laufachse. Zwischen den beiden vorderen Achsen ist die Zahnradvorrichtung untergebracht. Sie besteht aus einem besonderen Rahmen, der mittels verstellbarer Lager an diese Achsen angehängt ist und die beiden Zahnradachsen trägt. Ihr Antrieb erfolgt in gewöhnlicher Weise durch Kreuzkopf und Schubstange von einem innen liegenden Zylinderpaare aus. Jede Maschine besitzt eine Luftbremse für die Reibungs- und eine solche für die Zahnräder, ferner eine kräftige, auf die Reibungsräder und eine ebensolche auf die Zahnräder wirkende Spindelbremse, endlich eine selbsttätige Luftsaugebremse für sämtliche Wagen. Alle Züge werden auf den Zahnradstrecken gezogen. Die Zug- und Stoßvorrichtungen bestehen aus einem Mittelpuffer und symmetrisch dazu angeordneten Zughaken und Kuppelzaum, beide rückwärts mit einem wagerecht gelagerten zweiarmigen Hebel verbunden, so daß eine doppelte Verbindung zweier Nachbarfahrzeuge vorhanden ist. Alle drei Teile sind mit Spiralfedern elastisch gelagert.

Hauptverhältnisse der Lokomotiven der Linie Beirut-Damaskus.

Rostfläche		1,63 qm
Heizfläche der Feuerbüchse		8,00 „
„ „ Siederohre		87,8 „
Gesamtheizfläche		95,8 „
Länge der Sideröhren		3000 mm
Dampfspannung		12 Atm.
	Reibung	Zahnrad
Zylinderdurchmesser	380	380 mm
Kolbenhub	500	450 „
Triebraddurchmesser	750	688 „
Fester Radstand	3000	930 „
Gesamter „	5250	930 „
Leergewicht der Maschine		33,0 t
Wasser im Kessel		3,2 „
„ in den Kasten		5,0 „
Kohlen		2,5 „
Ausrüstung		0,3 „
Größtes Dienstgewicht		44,0 „
Reibungsgewicht		34,0 „
Zugkraft aus einfacher Reibung		5,0 „
„ „ Reibung und Zahnrad		10,0 „

Tiszolcz-Zólyombrézo.

Am 1. Dezember 1896 haben die ungarischen Staatsbahnen zwischen Tiszolcz und Zólyombrézo eine vereinigte Reibungs- und Zahnradbahn in Betrieb gesetzt, welche die Ausbeute der durch das Gebirge getrennten großen Kohlen- und Erzlager auf einem nur 30 km langen Verbindungsstück ermöglicht, statt auf dem bisherigen Umwege von rund 200 km Länge. Die Bahn, ein Glied der k. ungarischen Staatsbahnen bildend, ist vollspurig, hat in den Reibungstrecken größte Steigungen von 20 v. T., in den Zahnstangenstrecken solche von 50 v. T.

Die engsten Bogen erhielten 180 m, beziehungsweise 200 m Halbmesser. Der Oberbau ist ganz aus Stahl mit 128 mm hohen Schienen und Befestigungsmitteln nach Heindl, eisernen Querschwellen und einer zweiteiligen Zahnstange auf gegegossenen Stühlen ruhend.

Gewichtsverzeichnis für 9 m Gleis mit Zahnstange der Bahn Tiszolcz-Zólyombrézo.

Stück	Gegenstand	Gewicht kg	
		für 1 Stück	zusammen
2	Schienen von 34,5 kg für 1 m	310,5	621,0
11	Schwellen	56,0	616,0
2	Außen- Laschen	7,2	14,4
2	Innen- Laschen	9,8	19,6
8	Laschenbolzen	0,57	4.6
22	Unterlagskeile	1,35	29,7
44	Verschiedene Beilagen	0.34	15,0
22	Äußere Klemmplatten	0,30	6,6
22	Innere Klemmplatten	0.22	4,8
44	Hakenschrauben	0,5	22,0
10	Zahnplatten	33,0	330,0
10	Laschen	0,52	5,2
20	Laschenbolzen	0,74	14,8
10	Zahnstangenstühle	12,0	120,0
20	Fußschrauben	0.5	10,0
92	Befestigungsringe	0.02	2,3
		Zusammen	1836,0
		Gewicht für 1 m	204,0

Die Lokomotiven dieser Bahn zeigt Abb. 75. Es sind die größten und kräftigsten aller bis heute gebauten Zahnradlokomotiven. Ihr Dienstgewicht samt Vorräten beträgt 71 Tonnen, verteilt auf sechs Achsen; vier davon sind gekuppelt und besitzen ein unveränderliches Reibungsgewicht von 53 Tonnen; zwei Laufachsen, als Drehgestell hinter der Feuerbüchse angeordnet, tragen die Vorräte an Wasser und Kohle. Abb. 76 veranschaulicht die Zahnradeinrichtung. Dieselbe befindet sich zwischen der zweiten und dritten Achse, besteht in zwei auf gewöhnliche Art gekuppelten Zahnradachsen, welche ihren Antrieb von einem unter der Rauchkammer angebrachten Zylinderpaare erhalten und in sehr kräftigen Rahmen gelagert sind, die mit ihren Enden die erwähnten Reibungsachsen umfassen.



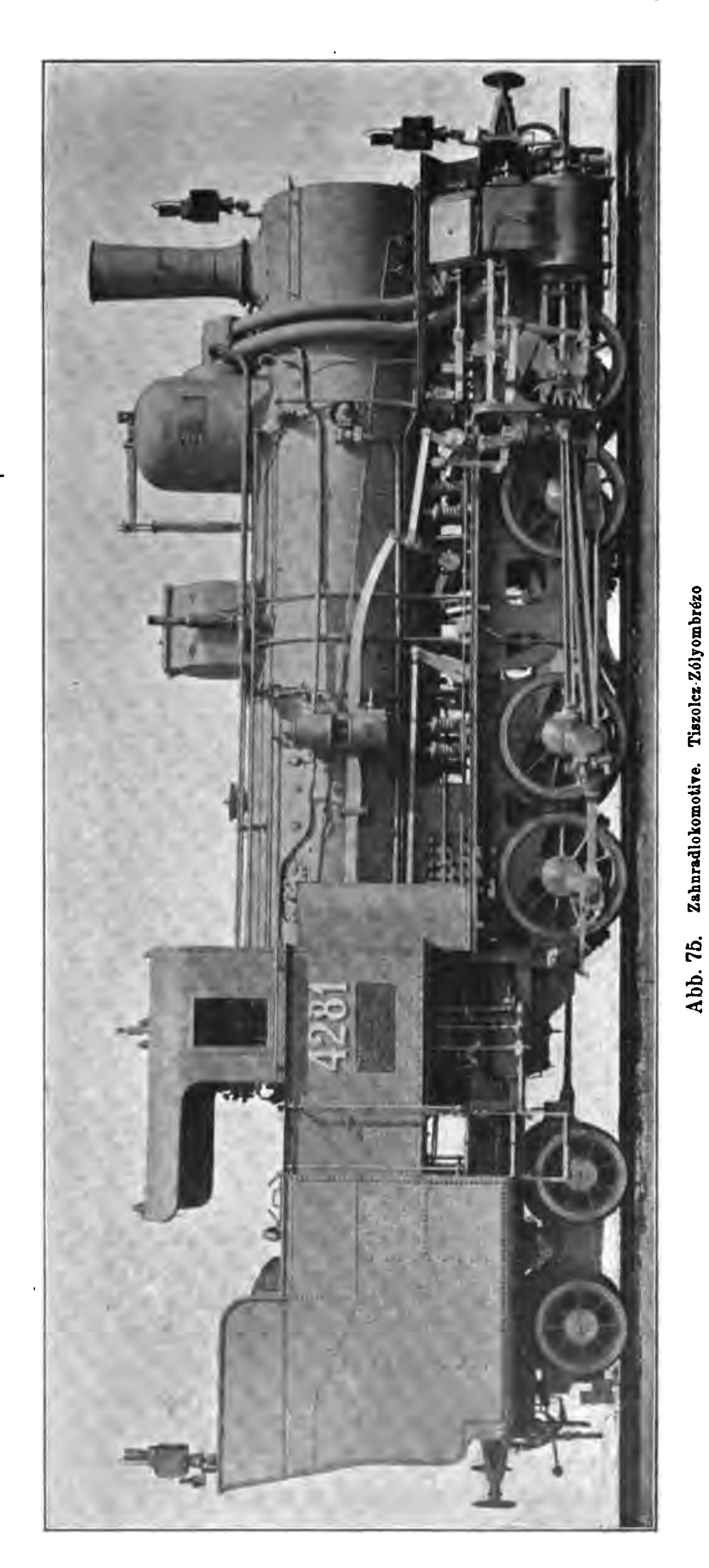


Abb. 75. Zahnradlokomotive. Tiszolcz-Zólyombrézo

Abb. 76. Zahnradeinrichtung der Lokomotiven der Bahn Tiszolcz-Zólyombrézo.

Hauptverhätnisse der Zahnradlokomotiven der Bahn Tiszolcz-Zólyombrézo.

	Reibung	Zahnrad	
Dampfdruck		12	Atm.
Heizfläche der Feuerbüchse		10,7	qm
„ „ Siederohre		154,8	„
„ im ganzen		165,5	„
Länge der Siederohre		4000	mm
Durchmesser der Siederohre, außen		44	„
Anzahl der Siederohre		280	
Zylinderdurchmesser	500	420	mm
Kolbenhub	500	450	„
Triebraddurchmesser	1050	688	„
Laufraddurchmesser	750	—	
Fester Radstand	4300	930	„
Gesamter Radstand	8800	930	„
Maschinengewicht, leer		56,0	t
Wasser im Kessel		3,5	„
Speisewasser		7,5	„
Kühlwasser		0,5	„
Kohlen		3,5	„
Dienstgewicht, größtes		71,0	„
„ mittleres		65,0	„
Reibungsgewicht		53,0	„
Zugkraft, Reibung und Zahnstange		15,0	„

Das gewöhnliche Zuggewicht beträgt 175 t, die Fahrgeschwindigkeit auf der Zahnstange 9 bis 12 km, auf reiner Reibungsstrecke, soweit die Züge geschoben werden müssen, 15 bis 20, sonst 25 bis 40 km.

Mit allen Vorräten ausgerüstet, wiegt die Maschine 71 t, wovon 12 t auf die Vorräte von Speisewasser und Brennmaterial entfallen. Das mittlere Dienstgewicht beträgt somit 65 t, oder wenig mehr als ein Drittel der normalen Zuglast; ein Verhältnis, das für eine gewöhnliche Reibungslokomotive auf 25 v. T. Steigung nur unter günstigen Verhältnissen erreicht wird.

Argentinische Nordbahn (Leon Volcan).

Die Argentinische Republik, welche schon vor mehreren Jahren, unter Anwendung des Abt'schen Zahnradsystems, eine Verbindung über die Anden mit Chile hergestellt hat, besitzt heute auch eine ähnliche internationale Eisenbahn im Norden, nach seinem Nachbarstaate Bolivia.

Auch diese Linie hat Meterspur, engste Kurven von 200 m Halbmesser und auf der Zahnstangenstrecke größte Steigungen von 60 v. T. Die Lokomotiven besitzen die durch Abb. 77 dargestellte Bauart, mit vier gekuppelten Reibungsachsen und einem einachsigen Bisselgestell hinter der Feuerbüchse; sie befördern für gewöhnlich einen Wagenzug von 150 t Gewicht mit 10 km Geschwindigkeit über die stärksten Steigungen, mit 20 bis 40 km auf den Reibungsstrecken.

Die Hauptverhältnisse sind die nachstehenden:

Spurweite		1000 mm
Dampfdruck		12 Atm.
Heizfläche der Feuerbüchse		11,0 qm
„ „ Siederohre		154,0 „
„ im ganzen		165,0 „
	Reibung	Zahnrad
Zylinderdurchmesser	480	430 mm
Kolbenhub	500	450 „
Triebraddurchmesser	940	688 „
Fester Radstand	3215	930 „
Gesamter „	6090	930 „
Maschinengewicht, leer		47,5 t
Reibungsgewicht		51,5 „
Größtes Dienstgewicht		63,5 „
Wasservorrat		8 000 l
Brennmaterial		2 000 kg
Zugkraft, Reibung und Zahnrad		15 000 „



Abb. 77. Lokomotive der Argentinischen Nordbahn.

§ 12. Betriebs- und Unterhaltungskosten der Lokomotiv-Steilbahnen.

Allgemeine Bemerkungen.

Für sich allein betrachtet sind die Betriebsergebnisse einer Bahn einfacher Natur. Sobald es sich aber um den Vergleich von Ergebnissen mehrerer Bahnen handelt, zeigen sich Schwierigkeiten, die nur selten voll berücksichtigt werden. Das unmittelbare Nebeneinanderstellen von Angaben gibt in den wenigsten Fällen ein richtiges Bild. Der Grund liegt darin, daß fast jede Bahn sich in besonderen, nur ihr eigenen Verhältnissen befindet. Dahin gehört zunächst die Länge. Gewisse Kosten, wie jene der allgemeinen Verwaltung, können schwer unter einen bestimmten Kleinstwert

hinunter gebracht werden, so kurz die Bahn auch sein mag. Umgekehrt genügen dieselbe Verwaltung und annähernd dieselben Kosten auch für eine erheblich längere Bahn.

Mit der Größe einer Bahnlinie in unmittelbarem Zusammenhang steht auch die mögliche Ausnutzung des Zugpersonals und der Fahrzeuge. Je länger die Bahn, desto günstiger die Verhältnisse und damit auch die betreffenden Kosten. Von wesentlichem Einflusse sind ferner die Gehalte und Löhne. In verschiedenen Gegenden wechseln sie bis 50, selbst bis 100 v. H. Welche Einwirkung daraus auf die Schlußergebnisse entsteht, mag ein Beispiel zeigen. Die Gotthardbahn verzeichnete unter

7 Millionen Frs. Betriebskosten
3,5 „ „ Arbeitslöhne.

Darunter erscheinen die Lokomotivführer mit 4000 bis 5200 frs. Bei sehr vielen Gesellschaften aber beziehen diese Beamten nicht über 2500 bis 3000 frs. jährlich. Ganz ähnlich verhält es sich mit der Anstrengung des Personals. Bei gleichen Löhnen werden von verschiedenen Gesellschaften sehr weit auseinandergehende Anforderungen an ihre Leute gestellt. Hier legt ein Lokomotivführer jährlich im Mittel 32000 km Weg zurück, auf einer anderen Bahn mit ganz gleicher Maschine nur 20000. Ein Bahnwärter steht hier jahraus, jahrein täglich seine 17 Stunden im Dienste, auf einer andern Bahn ist die Größtleistung mit 12 Stunden bemessen. Welchen Einfluß eine größere und gleichmäßig verteilte Anzahl von Freitagen der Bediensteten auf die Betriebskosten ausübt, zeigte in den letzten Jahren ein darauf bezügliches Gesetz in der Schweiz. Die den Gesellschaften daraus erwachsenen Mehrkosten betrugen gegen 2000 frs. für 1 km Bahn.

Von ebenso weittragender Bedeutung sind: die Güte der ersten Anlage, hinsichtlich Unterbau, Oberbau und Rollmaterial, sodann die Materialpreise. Eisenbahnen, in der Nähe von Kohlengruben gelegen, können sich das nötige Heizmaterial naturgemäß viel billiger verschaffen als solche, deren Bezugsquellen 1000 und mehr km abliegen. Weniger in die Augen springend, als die vorgenannten Einflüsse sind nachfolgende: Zweckentsprechende Lage, Einrichtung und Leitung der Reparaturwerkstätten, Art und Weise der Unterhaltung von Unter- und Oberbau. Es gibt Gesellschaften, die den Unterhalt von Bahn und Fahrzeug in eigentlich verschwenderischer Weise betreiben, während weniger günstig gestellte aus Sparsamkeit die nötigsten Ausbesserungen bis hart an die Grenze der Betriebsgefahr verschieben. Verschieden müssen die Kosten auch werden, wenn die Züge der einen Bahn mit sehr hoher, die der andern mit mäßiger Geschwindigkeit verkehren; wenn die eine Linie mit schweren, die andere mit leichten Maschinen betrieben wird; wenn hier die Reisenden in Nacht- wie Tageszügen zusammengedrängt, dort hinsichtlich Raum und Ausstattung der Wagen mit großem Aufwand umgeben sind; wenn die Ausnutzung der Wagentragkraft eine starke oder schwache; wenn das Wagengewicht im Verhältnis zur Ladefähigkeit ein geringes oder übermäßiges ist. Der Verkehr mit 36 Tonnen schweren Prunkwagen, die 32 Sitzplätze bieten, von denen durchschnittlich nur ein Viertel besetzt ist, kann bei den üblichen Frachtsätzen schwerlich so einträglich werden, wie die Personenbeförderung in Wagen mit 200 kg Eigengewicht für einen Reisenden. Es gibt aber noch Verhältnisse anderer Art, welche das Betriebsergebnis beeinflussen. Ist der Verkehr überhaupt schwach, oder stellt er sich stoßweise ein, oder ist er nur nach einer Richtung vorhanden, so wird das Ergebnis immer ein ungünstiges sein.



Endlich treten alle diese Eigentümlichkeiten in schärferer oder abgeschwächter Form auf, je nach dem Geiste, der die Betriebsleitung beseelt und sie befähigt, in jedem Falle die günstigste Seite herauszufinden. Die am häufigsten verwendete Schablone ist nicht immer die beste, sondern jene, die sich den Umständen am vorteilhaftesten anpaßt. Wie manches in Betracht gezogen werden muß, um die Ergebnisse verschiedener Bahnen richtig zu beurteilen, wird auch durch folgende Tatsache erläutert: Werden für die 42 schweizerischen Bahngesellschaften mit rund 3300 km Betriebslänge die Ausgaben der einzelnen Verwaltungszweige im Verhältnis der reinen Betriebskosten ausgedrückt, so ergeben sich folgende Schwankungen:

a) für allgemeine Verwaltung	von	5	bis	31	v. H.
b) „ Bahnunterhaltung und Aufsicht	„	9	„	55	„
c) „ Verkehrsdienst	„	9	„	37	„
d) „ Zugdienst	„	25	„	69	„

Wie viel größere Verschiedenheiten müßten erst zutage treten, wenn die Rechnungsführung keine einheitliche wäre, wenn die Lohnverhältnisse und Materialpreise mehrerer Länder hinzukämen.

Diese Andeutungen mögen zur Genüge dartun, daß die bloße Wiedergabe der Betriebsergebnisse von Steilbahnen, ohne gleichzeitige Darlegung der näheren Umstände recht wenig Wert hat. Das meiste Interesse aber dürfte der Vergleich mit den Ergebnissen ähnlicher Reibungsbahnen abgeben. Wir lassen daher eine solche Zusammenstellung[1]) folgen und zwar bezüglich zweier Vertreter des gewöhnlichen und zweier des Zahnradbetriebs, nämlich:

der Arlbergbahn von Bludenz bis Landeck,
der Gotthardbahn in ihrem ganzen Umfange

einerseits und

der Erzbergbahn von Eisenerz bis Vordernberg,
der Harzbahn von Blankenburg bis Tanne

anderseits.

Hiervon werden Arlberg- und Erzbergbahn von der Generaldirektion der k. k. österr. Staatsbahnen, Harz- und Gotthardbahn von Gesellschaften betrieben und zwar die Erzbergbahn seit 1892, die drei übrigen seit etwa 15 Jahren. Alle vier Linien sind Gebirgsbahnen mit voller Spurweite. Arlberg- wie Erzbergbahn sind reine Gebirgsübergänge, mit anhaltender Steigung bis zur Wasserscheide, dann mit stetigem Gefälle bis zum tiefsten Punkte. Schwächere Steigungen kommen nur auf einem kleineren Teile der Linie vor. Gotthard- und Harzbahn dagegen überschreiten mehrere Wasserscheiden, die Größtsteigung wechselt mit langen Strecken von geringer Neigung. Die beiden Reibungsbahnen haben fast ausschließlich Durchgangsverkehr. Derselbe ist nach einer Richtung sehr stark, nach der andern immer noch bedeutend. Weit ungünstiger sind die beiden Bahnen gemischten Betriebs gestellt. Die Harzbahn endigt auf der Höhe des Gebirges, ohne weiteren Anschluß an eine andere Bahn, die Erzbergbahn hat wohl beiderseitig Anschlüsse, empfängt aber den überwiegenden Teil ihres Verkehrs auf halbem Wege und hat denselben nur nach einer Seite zu befördern. Die Lokomotiven aller vier Bahnen besitzen angenähert dieselbe Stärke.

[1]) Nach einem Berichte von R. Abt an die Generaldirektion der k. k. österr. Staatsbahnen.

Zusammenstellung der Betriebsergebnisse.

Nr.	Bezeichnung	Arlberg 1893	Erzberg 1893	Harz 1894	Gotthard 1894
	I. Gruppe.				
1	Bahnlänge in Kilometern	64	20	30,5	266
2	Erstiegene Höhe in Metern	1286	950	648	2496
3	Größte Steigung in Tausendsteln	31,4	71	60	26
4	Mittlere „ „ „	20	47,5	21,2	9,4
	II. Gruppe.				
5	Anzahl der Lokomotiven	26	10	6	104
6	Lokomotivgewichtsmittel in Tonnen	81	58	56	76
7	Zulässiges Zuggewicht für eine Maschine auf der Größtsteigung in Tonnen:				
	bei Schnellzügen	100	110	135	90
	„ Personenzügen	110	bis	bis	120
	„ Güterzügen	180	200	150	175
8	Wirkliches Zuggewicht für eine Maschine, allgemeines Mittel in Tonnen	136	70	81	137
9	Zuggewicht in Hundertsteln des Maschinengewichtes	168	121	145	180
	III. Gruppe.				
10	Zugkilometer ohne Nebenleistungen	427 731	115 513	115 743	2 811 363
11	Zugkilometer für Maschine und Tag	45	32	53	74
12	Lokomotivkilometer einschließl. Nebenleistungen	804 598	154 859	143 721	3 841 383
13	Lokomotivkilometer für eine Maschine	30 945	15 486	23 953	36 936
14	Lokomotivkilometer für eine Maschine und einen Tag	85	43	66	101
15	Gesamt-Tonnenkilom. ohne Lokomotiven	88 998 000	7 961 000	9 309 372	562 387 072
16	Gesamt-Tonnenkilom. für das Bahnkilom.	1 390 600	398 050	305 220	1 917 828
17	Personenkilometer	11 924 058	rd. 500 000	947 150	75 695 088
18	Gütertonnenkilometer	21 070 560	3 627 000	3 648 668	126 942 382
19	Personen- und Gütertonnenkilometer (Einheit)	32 994 618	rd. 4 127 000	4 595 818	202 637 470
20	Personen für 1 km Bahn	186 313	rd. 25 000	31 054	284 568
21	Gütertonnen für 1 km Bahn	343 200	181 350	119 628	477 227
22	Personen und Güter für 1 km Bahn	529 513	rd. 206 350	150 682	761 795
	IV. Gruppe.				
23	Bahnerhaltungskosten in Mark	572 880	91 291	43 243	1 515 110
24	Erhaltungskosten für 1 km Bahn	8.952	4.564	1,418	5,695
25	Erhaltungskosten für die Einheit (Nr. 19)	0,0173	0,0221	0,0094	0,0075
26	Kosten für Zahnstangenschmierung für 1 km Zahnstange	—	136,08	38,64	—
	V. Gruppe.				
27	Verkehrsdienstkosten in Mark	252 622	54 520	77 801	1 603 560
28	Verkehrsdienstkosten für 1 km Bahn in Mk.	3960	2726	2554	6026
29	Verkehrsdienstkosten für die Einheit (Nr. 19) in Mark	0,0076	0,0131	0,0181	0,0079
	VI. Gruppe.				
30	Zugkosten einschl. Unterhalt und Werkstättendienst in Mark	346 332	83 765	128 651	2 660 465

Nr.	Bezeichnung	Arlberg 1893	Erzberg 1893	Harz 1894	Gotthard 1894
31	Zugkosten für 1 km Bahn in Mark . . .	5350	4188	4218	10 002
32	Zugkosten für 1 Zugkilometer in Mark. .	0.85	0,72	1,11	0,94
33	Zugkosten für 1 Gesamt-Tonnenkilometer in Mark	0,0039	0,0106	0,0138	0,0047
34	Zugkosten für die Einheit (Nr. 19) in Mk.	0,0105	0,0203	0,0279	0,0131
35	Erhaltungskosten der Fahrbetriebsmittel in Mark	96 100	20 328	27 690	482 020
36	Erhaltungskosten für eine Lokomotive in Mark	3 700	2033	4620	4640
37	Erhaltungskosten der Fahrbetriebsmittel für ein Zugkilometer in Mark	0,222	0,175	0,238	0,171
38	Erhaltungskosten der Fahrbetriebsmittel für die Einheit (Nr. 19) in Mark	0,0028	0,0049	0,0060	0,0023
	VII. Gruppe.				
39	Kohlenverbrauch, Kohle von 4,4-facher Verdampfung in Tonnen	25 921	6590	4002	84 534
40	Kohlenverbrauch für 1 Zugkilometer in Kilogramm.	61	57	35	30
41	Kohlenverbrauch für 1 Lokomotivkilometer in Kilogramm	32	42	28	22
42	Kohlenverbrauch für 1 Gesamt-Tonnenkilometer	0,29	0,83	0.43	0.15
43	Kohlenverbrauch für 1 Gesamt-Tonnenkilometer und für 10 v. T. Steigung . .	0,145	0,175	0,203	0,160
44	Schmier- und Putzmaterial in Kilogramm	13 874	17 430	12 788	187 195
45	Verbrauch für 1 Zugkilometer in Kilogramm	0,032	0,150	0,110	0,067
46	Verbrauch für 1 Lokomotivkilometer in Kilogramm.	0,017	0,112	0,089	0,049
	VIII. Gruppe.				
47	Gesamte Betriebskosten in Mark.	1 201 200	270 682	287 330	7 321 574
48	Betriebskosten für 1 km Bahn in Mark. .	18 766	13 534	9 421	27 520
49	Betriebskosten für 1 Zugkilometer in Mark	2,80	2,34	2,48	2,60
50	Betriebskosten für 1 Brutto-Tonnenkilometer in Mark	0,0135	0,0340	0,0309	0,0130
51	Betriebskosten für die Einheit (Nr. 19 in Mark	0,036	0,065	0,062	0,036
	IX. Gruppe.				
52	Baukosten einschließl. Betriebsmittel in Mark	55 853 280	9 240 000	4 236 960	229 419 120
53	4 v. H. Zins hiervon in Mark	2 234 131	369 600	169 480	9 176 765
54	Baukosten für 1 km Bahn	872 710	462 000	139 440	862 480
55	4 v. H. Zins hiervon in Mark	34 910	18 480	6 283	34 499
56	4 v. H. Zins der Baukosten für die Einheit (Nr. 19)	0,068	0,089	0,037	0,045
57	Betriebskosten und Kapitalzinsen in Mark	3 435 331	640 282	456 820	16 498 340
58	Betriebskosten und Kapitalzinsen für 1 km Bahn in Mark	53 680	32 014	15 120	62 026
59	Betriebskosten und Kapitalzinsen für die Einheit (Nr. 19) in Mark	0.104	0,155	0,100	0,081



In der vorstehenden Tabelle sind die Ergebnisse in neun Gruppen eingereiht; dazu gehören die nachfolgenden Erläuterungen.

I. Gruppe, Nr. 1—4.

Bahnverhältnisse.

Die zwei Bahnen gemischten Betriebs werden auf den Steigungen bis zu 25 v. T. nur mittels Reibung, auf den stärkeren Rampen aber mittels Reibungs- und Zahnrad betrieben. Auf den beiden österreichischen Bahnen beträgt die mittlere Steigung 65 v. H. der größten, auf den beiden anderen dagegen nur 35 v. H.

II. Gruppe, Nr. 5—9.

Lokomotiven.

Trotz ziemlicher Übereinstimmung in der Stärke der Lokmotiven aller vier Bahnen zeigt sich im Dienstgewichte doch ein wesentlicher Unterschied. Das geringere Gewicht der Zahnradlokomotiven findet seine Erklärung in dem Wegfall eines Schlepptenders, in den etwas geringeren Vorräten an Wasser und Kohle, dann aber auch in dem weitgehenden Bestreben, durch beste Materialien und vereinfachte Bauart jede mögliche Gewichtsverminderung einzuführen. Verschieden freilich äußert sich die Leistung der Lokomotiven. Auf den Reibungsbahnen ist die Zugkraft eine nicht übermäßig hohe, 5—8000 kg, die Fahrgeschwindigkeit dagegen eine erhebliche, namentlich auf der Gotthardbahn, mäßiger auf der Arlbergbahn, wo sie, vom großen Tunnel abgesehen, beträgt für:

Schnellzüge	26 km/St.
Personenzüge	20 „
leichtere Güterzüge	14 „
schwere „	12 „

Auf den beiden Zahnradbahnen werden sämtliche Züge mit nur einer, auf den zwei Reibungsbahnen aber viele Personenzüge, die Güterzüge fast ausnahmslos, mit zwei, hier und da auch mit drei Lokomotiven befördert. Die betreffenden Belastungsbestimmungen lauten in diesen Fällen für die Größtsteigung:

	Arlberg	Gotthard
Schnellzüge	200 Tonnen	160 Tonnen
Personenzüge	220 „	200 „
Güterzüge.	360 „	330 „

mit entsprechender Einschränkung bei ungünstiger Witterung.

Aus Nr. 7 und 8 ersehen wir, daß das zulässige Zuggewicht für 1 Lokomotive auf den Steigungen von 60 v. T. der Harzbahn dasselbe ist, wie das wirkliche Durchschnittsgewicht auf den beiden Reibungsbahnen. Wenn nun das letztere auf den beiden Zahnradbahnen erheblich zurückbleibt, so findet das zum großen Teil seine Erklärung in der angedeuteten ungünstigen Verteilung des Verkehrs.

III. Gruppe, Nr. 10—22.

Die Gotthardbahn hat für ihre Lokomotiven Personalwechsel eingeführt. Sie erzielt damit die hohen Leistungen von 74 Zugkilometern und 101 Lokomotivkilometern

für Lokomotive und Tag. Am Arlberg ist die Lokomotivenzahl eine wechselnde. Nehmen wir dieselbe schätzungsweise zu 26 an, so ergäbe sich daraus eine tägliche Leistung von 45 Zugkilometern und 85 Lokomotivkilometern. Die Zahnradbahnen zeigen daneben recht ansehnliche Leistungen, nämlich:

32 Zugkilometer und 43 Lokomotivkilometer am Erzberg,
53 „ „ 66 „ „ Harz.

Hohe Steigungen, geringe Bahnlänge und die eigentümlichen Verkehrsverhältnisse lassen hier eine günstige Ausnützung der Maschinen im Sinne eines langen Weges nicht aufkommen. In ganz anderem Lichte zeigen sich die Zahlen, wenn wir die mittlere Steigung der vier Linien daneben halten, nämlich:

Bahn	Zugkilometer für Maschine und Tag	Mittlere Steigung	Zugkilometer für 20 v. T. mittlere Steigung
Arlberg. . .	45	20 v. T.	45
Erzberg. . .	32	47,5 „	76
Harz	53	21,2 „	56
Gotthard . .	74	9,4 „	35

In den hier in Betracht fallenden Verhältnissen verkehrt die Zahnradmaschine mit einer mittleren Geschwindigkeit von 12 km, oder von 15 km in den Personenzügen, Reibungs- und Zahnstangenstrecken ineinander gerechnet. Bei einem Fahrdienst von täglich 8 Stunden ergibt das einen Weg von rund 100 km, bei 200 Diensttagen im Jahr somit mindestens 20 000 km, ohne Nebenleistungen.

Ein Bild von allgemeinem Interesse geben die Nrn. 16 bis 21. Das im Jahr beförderte Gesamtgewicht, mit Ausschluß der Lokomotive, betrug für das Bahnkilometer:

am Arlberg . . . . 1 390 600 Tonnen,
„ Erzberg . . . . 398 050 „
„ Harz . . . . 305 220 „
„ Gotthard . . . . 1 917 828 „

Hierin zeigt sich die sehr verschiedene Arbeit, die, von der Steigung ganz abgesehen, jeder einzelnen Bahn zufällt und dadurch das Ergebnis beeinflußt. Die genaue Personenbewegung für den Erzberg war nicht erhältlich; es mußte darum diese Zahl näherungsweise eingesetzt werden. Eine, wenn auch nicht ins Gewicht fallende Ungenauigkeit mag daher in dieser und den davon abgeleiteten Angaben vorkommen. Nach Personen und Gütern ausgeschieden, hätten damit die vier Bahnen folgenden, gleichmäßig über die ganze Bahn verteilten Verkehr aufgewiesen:

Bahn	Reisende, Nr. 20	Güter, Nr. 21
Arlberg. . .	186 313	343 200
Erzberg. . .	ungefähr 25 000	181 350
Harz	31 054	119 628
Gotthard . .	284 568	477 227

Für die weiteren Untersuchungen haben wir uns gestattet, Nr. 19: Die Anzahl der Personen- und Gütertonnen-Kilometer zusammengenommen als „Einheit", d. h. als Maßstab zur Bewertung einer Reihe von Ergebnissen einzuführen. Über diese Annahme kann man verschiedener Meinung sein. Richtig ist, daß auf der Gotthardbahn die Einnahmen für das Personenkilometer und für das Gütertonnenkilometer genau dieselben sind; richtig ist auch, daß mit diesem Maßstabe die allgemeine Beurteilung — und darum handelt es sich hier — eine höchst einfache und übersichtliche wird.

IV. Gruppe, Nr. 23—26.

Bahnerhaltung.

Bekanntlich unterscheidet sich der Oberbau einer Bahn gemischter Bauart von demjenigen einer gewöhnlichen nur durch das Vorhandensein einer Zahnstange auf den starken Steigungen. Wie Nr. 24 zeigt, stehen die Unterhaltungskosten des Oberbaues mit Zahnstange, gegenüber jenen gewöhnlicher Bahnen, ganz vorteilhaft da, während sie, auf die „Einheit" bezogen, für die starke Verkehrsmenge selbstverständlich günstiger erscheinen, als für die viel geringere der Zahnradbahnen, Nr. 25.

V. Gruppe, Nr. 27—29.

Die Kosten des Verkehrsdienstes verhalten sich ähnlich wie jene der allgemeinen Verwaltung. Sie werden von der Betriebsart wenig beeinflußt. Das Personal auf den Stationen, dessen Kosten hier am meisten ins Gewicht fallen, steht in gar keinem Zusammenhange mit dem Betrieb. Die Auslagen für Kondukteure und Schaffner werden auf Zahnradbahnen insofern etwas andere, als infolge geringer Fahrgeschwindigkeit und verminderter Zugbelastung ein höherer Personalstand nötig sein wird, während anderseits durch die höhere Steigung der Weg abgekürzt werden konnte. Nr. 28 zeigt die kilometrischen Kosten zwar bescheiden für die Zahnradbahnen, dagegen wieder ungünstiger, sobald die ganz verschiedenen Verkehrsmengen in Betracht kommen, Nr. 29.

VI. Gruppe, Nr. 30—38.

Zugkosten.

Am meisten interessieren die Ausgaben für den Zugkraftdienst. Hier kommt die Verminderung des Zuggewichts und der Fahrgeschwindigkeit als Folge der starken Steigung deutlich zum Ausdrucke, so in Nr. 33 Kosten für das Gesamt-Tonnenkilometer. Jede der beiden Zahnradbahnen zeigt außerdem eine zweimal höhere Ziffer, als die ihr der Form des Längenschnittes nach ähnliche Reibungsbahn. Nr. 35—38 geben die Unterhaltungskosten für die Fahrbetriebsmittel und zwar sehr zu gunsten der Zahnradbahnen. Für den Erzberg erscheinen diese Kosten für die Lokomotive auffällig niedrig. Es wird solches durch den neuen Zustand der Maschinen erklärt. Aus den Nr. 34 und 38 läßt sich ableiten, daß die Wiederherstellungskosten im Verhältnis zu den gesamten Zugkosten betragen:

am Arlberg rund 28 v. H.
„ Erzberg und Harz 22 „
„ Gotthard 18 „

VII. Gruppe, Nr. 39—46.

Brenn- und Schmiermaterialverbrauch.

Die österreichischen Staatsbahnen besitzen für die Angabe des Brennmaterialverbrauches eine vorzügliche Bestimmung, die allgemeine Nachahmung verdiente. Der Verbrauch wird nämlich stets in sogenannter „Normalkohle" ausgedrückt, d. h. nach dem Heizwerte. Die Normalkohle besitzt eine Verdampfungsfähigkeit von 4,4 Liter Wasser für 1 Kilogramm. Auf eben diese Einheit sind in der Tabelle auch die bezüglichen Ergebnisse der übrigen Bahnen zurückgeführt und zwar unter Zugrundelegung einer 7,5fachen Verdampfung der Kohle der Harzbahn und einer 7fachen derjenigen der Gotthardbahn.

Nach Nr. 42 erscheint der Verbrauch am Erzberg, mit 0,83, um 2,8mal höher als am Arlberg, derjenige am Harz, mit 0,43, um ebenfalls 2,8mal größer als am Gotthard, während die Erzbergbahn wieder doppelt so hoch dasteht als die am Harz. Ganz anders ist das Bild, wenn wir die Zahlen dieser Nummer auf eine gemeinsame mittlere Steigung von zum Beispiel 10 v. T. beziehen. Dabei ergibt sich für den Erzberg eine fast ebenso günstige Zahl, wie für die beiden Reibungsbahnen. Sie müßte aber, wie auch am Harz, geringer ausfallen, wenn diese Bahnen eine Ausdehnung und einen so dichten Verkehr besäßen, wie die zwei großen. Daß die geringste Arbeit und dementsprechend der kleinste Kohlenverbrauch auf Seite der größern Steigung zu suchen ist, sobald es sich um Überwindung einer großen Höhe handelt, geht schon aus der einfachen Erwägung hervor, daß z. B. auf der Gotthardbahn, deren mittlere Steigung 9,4 v. T. beträgt, von der zur Fortbewegung des Zuges nötigen Kraft nur ungefähr die Hälfte auf das Heben verwendet wird, während die andere Hälfte für Überwindung der verschiedenen Widerstände verloren geht. Bei einer mittleren Steigung von 47,5 v. T., wie am Erzberg, beträgt der Gesamtwiderstand für die Tonne rund 56 kg. Davon genügt $^1/_6$ zur Überwindung der Reibungswiderstände und $^5/_6$ finden für Hebung der Last nützliche Verwendung.

Wird unter der Annahme des gleichen mittleren Reibungswiderstandes von 9 kg für die Tonne, Lokomotive und Wagen ineinander gerechnet, und der durchschnittlichen Steigung nach Nr. 4 die mittlere Zugkraft berechnet, so läßt sich daraus der Kohlenverbrauch für die Tonne Zugkraft ableiten.

Bahn	Mittlere Zugkraft in Kilogramm	Kohlenverbrauch in Kilogramm für ein Lokomotivkilometer	
		im ganzen	für die Tonne Zugkraft
Arlberg. . .	6293	32	5,1
Erzberg. . .	7212	42	5,8
Harz	4137	28	5,7
Gotthard . .	3809	22	5,9

Eine irrtümliche Anschauung wäre es zu glauben, daß hierbei die Fahrgeschwindigkeit in Rechnung gebracht werden sollte. Freilich ist für eine bestimmte Zugkraft bei höherer Geschwindigkeit die mechanische Arbeit größer als bei geringerer, also damit im Zusammenhang auch der Kohlenverbrauch. Allein je rascher gefahren wird, desto schneller ist auch der Weg (das Kilometer) zurückgelegt. Der Kohlenverbrauch auf die Wegeinheit bezogen, bleibt unabhängig von der Geschwindigkeit. Zeit und Weg treten in Wechselwirkung.



Der Verbrauch an Schmiermaterial, Nr. 44, belastet die Ausgaberechnung nicht schwer. Der ungewöhnlich geringe Verbrauch am Arlberg legt Zeugnis dafür ab, welche erfreulichen Ergebnisse durch zweckentsprechende Schmiereinrichtung, sparsame Bedienung und richtige Wahl des Schmiermittels erzielt werden können. Der Verbrauch von 89 g für 1 Lokomotivkilometer am Harz ist dagegen ein recht hoher. In den früheren Jahren bewegte er sich stets zwischen 60 und 70 g. Der noch höhere Verbrauch am Erzberge, 112 g, dürfte vorab seinen Grund in der Neuheit der Bahn und der Fahrzeuge haben, dann aber auch in einer sehr reichlichen Schmierung, so daß für die künftigen Jahre eine bedeutende Verminderung zu erwarten ist. Einen etwas höhern Verbrauch bedingt übrigens die Bauart der Zahnradmaschine. Für gewöhnlich dürfte er ziemlich richtig mit 75 gegenüber 50 g bei gleich starken Reibungsmaschinen zu bemessen sein. Daß auch hier wiederum die Eigentümlichkeiten der Bahn, namentlich eine geringe Länge und viele, lange Aufenthalte in Bahnhöfen den Verbrauch ungünstig beeinflussen, liegt auf der Hand. Leider beruhen auch die gesamten Zahlen nicht auf einer einheitlichen Bemessung des Schmierwertes der verwendeten Mittel.

VIII. Gruppe, Nr. 47—51.

Gesamte Betriebskosten.

Für die uns hier interessierende Teilstrecke der Arlbergbahn werden die Kosten der allgemeinen Verwaltung nicht besonders verrechnet. Um unsern Vergleich durchführen zu können, mußten wir uns daher gestatten, diesen Posten zu schätzen; es geschah mit Mark 60480, oder rund 5 v. H. der gesamten Betriebskosten.

Nach Nr. 48 stehen die Betriebsausgaben für 1 Bahnkilometer annähernd im Verhältnis zur Verkehrsstärke. Auf das Zugkilometer bezogen, Nr. 49, betragen sie für alle vier Bahnen im Mittel 2,5 Mark; für das Bruttokilometer, Nr. 51, aber zeigen die Reibungsbahnen nur rund Mark 0,013, die Zahnradbahnen dagegen rund Mark 0,034 und 0,031, während die Werte für die Einheit, Nr. 52, bloß einen Unterschied von rund 70 v. H. aufweisen.

IX. Gruppe, Nr. 52—59.

Baukosten.

Für die beiden großen Alpenübergänge betrugen die Baukosten etwas über 840000 Mark für das Kilometer, wobei freilich die langen Tunnels eine verhältnismäßig hohe Summe in Anspruch nahmen. So entfallen von den 55 Millionen Baukapital des Arlberg 35 Millionen auf die Herstellung des 11 km langen Tunnels und nur 20 Millionen auf die übrigen 53 km, somit rund 386000 Mark gegenüber 462000 am Erzberg. Die Vermutung liegt nahe, es möchten hier die Mehrkosten eine Folge des Zahnradsystems sein. Es ist dem aber nicht so. Am Erzberge liegen 15 km Zahnstange. Wenn wir diese, einschließlich des Legens und aller etwaigen

Unkosten	mit	Mk. 453600
die Mehrkosten der Zahnradlokomotiven	„	„ 218400
zusammen also	mit	Mk. 672000



berechnen, so ist diese Summe sehr reichlich bemessen, das macht aber nur eine besondere Ausgabe von

Mark 33 600 für das Kilometer Bahn.

Die höhere Ausgabe ist eine Folge der ganz außergewöhnlichen Bauschwierigkeiten, welche auch ohne Zahnradbetrieb

Mark 428 400 Kosten für 1 km

verursachten. Ziehen wir in Betracht, daß es sich am Erzberg darum handelte, hoch übereinanderliegende Punkte zu verbinden, so konnte diese Aufgabe gelöst werden entweder mit Hilfe einer kurzen Linie unter Anwendung von steilen Rampen, wie es wirklich geschehen ist, oder durch schwächere Steigungen und einer dadurch bedingten größeren Bahnlänge. Sicher ist, daß dabei die Baukosten für das Kilometer nicht niedriger, voraussichtlich aber noch höher ausgefallen wären. Für eine durchschnittliche Steigung, wie am Arlberg, hätte eine Erzbergbahn ungefähr

48 Kilometer Länge

erhalten und rund 22 statt 9 Millionen Mark kosten müssen. In dieser Erwägung liegt der eigentliche Schwerpunkt.

Ungewöhnlich billig wurde die Harzbahn erbaut; stellte sich doch hier das Kilometer nur auf Mark 157 000.

Werden nach Nr. 55, die 4 v. H. Zinsen der Baukosten für das Kilometer Bahn ermittelt, so ergibt sich:

am Harz . . . . Mark 6 276,
„ Erzberg. „ 18 480,

auf den beiden Reibungsbahnen etwas über Mark 33 600.

Die Folge davon ist, daß trotz des schwachen Verkehrs für die beförderte Person und Tonne Gut an Kapitalzins erforderlich sind (Nr. 51):

nur 3,7 Pfg. am Harz,
gegen 4,5 „ „ Gotthard,
6,8 „ „ Arlberg,
8,9 „ „ Erzberg.

Rechnen wir Betriebskosten und Kapitalzins zusammen, Nr. 57, dann zeigt die Summe, wie hoch die Gesamteinnahmen sein müßten, damit aus dem Bahnerträgnis die jetzigen Betriebskosten samt 4 v. H. Kapitalzinsen bestritten werden könnten.

Es wäre das:

Mk. 16 498 334 am Gotthard,
„ 3 435 331 „ Arlberg,
„ 640 280 „ Erzberg,
„ 456 817 „ Harz.

Am Arlberg und Erzberg werden die bezüglichen Erhebungen nicht besonders durchgeführt und fehlen darum die betreffenden Angaben. Auf der Harzbahn dagegen betrugen die reinen Betriebseinnahmen

Mk. 454 877;

sie allein reichten also hin, nach Abzug der Betriebskosten das ganze Anlagekapital mit 4 v. H. zu verzinsen. Zu einem gleich günstigen Ergebnisse fehlten der Gotthardbahn nahezu 4,2 Millionen Mark. Wenn gleichwohl die Aktionäre dieser Bahn sich

eines hohen Gewinnanteils erfreuen, so verdanken sie solches den über 100 Millionen betragenden Staatszuschüssen. Auf das ganze Bankapital bezogen, ergeben die Betriebsüberschüsse eine Verzinsung von nur

2,3 v. H.

Wohl ein ähnliches Verhältnis dürfte am Arlberg bestehen.

Müßten diese vier Bahnen sich selbst erhalten und dabei ihr ganzes Kapital mit 4 v. H. verzinsen, dann müßten die Frachtsätze, also die kilometrischen Einnahmen für Person und Tonne Gut betragen (Nr. 59)

am	Arlberg . .	10,4	Pfennige,
„	Erzberg . .	15,5	„
„	Harz . . .	9,9	„
„	Gotthard .	8,1	„

Wie soeben erwähnt, trifft solches nur auf der Harzbahn zu, am Gotthard ist die Einnahme 6,2 Pfennige.

Es erübrigt uns, noch eine letzte Betrachtung anzustellen. Die Ergebnisse der zwei Hauptbahnen lehren, daß für Linien in besonders schwierigem Gelände auch ein sehr bedeutender Verkehr oft nicht ausreicht, eine genügende Verzinsung der aufgewendeten Bausumme aufzubringen. Wie viel eher steht ein solches Ergebnis da bevor, wo überhaupt nur ein mäßiger Verkehr zu erwarten ist. Für den Bau von Bahnen in schwierigen Verhältnissen handelt es sich darum, jene Lösung zu wählen, welche den größeren Reinertrag liefert. Ob solches durch die steilere und billigere Linie mit höheren Betriebskosten, oder umgekehrt durch eine längere und teurere Bahn mit geringeren Betriebskosten zu erreichen ist, muß die jeweilige Untersuchung lehren.

So ungünstig die Erzbergbahn als Beispiel erscheinen mag, so zeigt doch auch sie, daß durch Anwendung des gemischten Betriebs und der damit erzielten Abkürzung der Linie, Betriebskosten und Zinsen zusammen geringer ausfallen, als solches bei einer gewöhnlichen Bahn möglich gewesen wäre. Unter den jetzigen Verhältnissen sollte am Erzberg die Beförderung einer Person oder einer Tonne Gut von einem Ende der Bahn bis zum anderen durchschnittlich eintragen:

zur Deckung der Betriebsspesen . . .	$20 \times 0{,}065 = 1{,}31$ Mk.
„ Gewinnung der Kapitalzinsen . . .	$20 \times 0{,}089 = 1{,}78$ „
	zusammen $= 3{,}09$ Mk.

Oben haben wir erwähnt, daß an Stelle der jetzigen Bahn eine solche, ausgeführt in den Verhältnissen der Arlbergbahn, 48 Kilometer Länge erhalten hätte und 22 Millionen gekostet haben würde. Auf jede der 206 530 Personen und Tonnen Güter, Nr. 20 und 21, welche über die ganze Bahn zu befördern waren, träfe somit von den Kapitalzinsen allein

Mk. 4,23,

also schon mehr als heute Betriebskosten und Zinsen zusammen ausmachen. Allein die Betriebskosten für die Einheit betrügen mindestens auch noch

$$48 \times 0{,}037 = \text{Mk. } 1{,}77;$$



so daß die Beförderung einer Person oder einer Tonne Gut sich dann auf

Mk. 6,00

gestellt hätte, statt, wie jetzt, auf Mk. 3,10.

Betriebsergebnisse von vier Vergnügungsbahnen, nach der Schweizerischen Eisenbahnstatistik vom Jahre 1903.

Gegenstand	Pilatus	Rigi	Glion-Naye	Visp-Zermatt
Bahnlänge in Kilometer	4,3	7,0	7,7	35,2
Größte Steigung v. T.	480	250	220	125
Anzahl der Lokomotiven	10	12	7	6
Lokomotivgewicht in Tonnen	7	16	16	29
Zuggewicht, zulässig, Lokomotive ausgeschlossen	4,5	9	9	40
Zuggewicht, durchschnittlich, mit Lokomotive	10,4	24,6	21,5	58,2
Lokomotivkilometer im ganzen	14 709	31 660	22 945	48 403
Lokomotivkilometer für die Maschine	1471	2636	3530	8067
Anlagekapital in Francs	2 890 000	2 579 000	2 814 000	6 165 000
Anlagekapital für 1 km Bahn	672 000	368 000	363 000	175 000
Betriebseinnahmen in Francs	289 159	530 520	285 274	612 174
Betriebseinnahmen für 1 km Bahn	67 246	76 887	37 049	17 441
Betriebsausgaben:				
Allgemeine Verwaltung	21 461	16 189	5415	25 790
Bahnunterhalt	22 409	41 493	14 559	55 310
Abfertigung	20 590	39 165	9951	44 951
Zugkosten	60 760	100 465	57 626	79 085
Verschiedenes	12 288	136 159	8007	26 108
Im ganzen	137 508	333 471	95 561	231 244
Für 1 km Bahn	31 979	48 329	12 411	6588
Überschuß der Einnahmen	151 651	197 049	189 713	380 930
Reinertrag v. H.	5,40	7,41	5,11	5,20

Literatur.

Blenkinsop's Rack-railway and Cog-wheel Locomotive at the Middleton Colliery, near Leeds. Smiles's „Lives of the Engineers". 1811.

The Mount Washington Railway. Engineering 1869.

Mallet, A. Étude sur les chemins de fer de montagne avec Rail à crémaillère. 1872.

Kronauer. Die Rigibahn. 1873.

Abt, R. Die drei Rigibahnen und das Zahnradsystem. 1877.

Abt, R. Zahnradbahnen (System Riggenbach). Handbuch für Specielle Eisenbahntechnik von Heusinger von Waldegg. V. Bd., IV. Kap. 1878.

Abt, R. Über Zahnradbahnen für starke Steigungen. Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. 1878.



Sternberg. Eisenbahnen mit Mittelschienen (System Fell), Sekundärbahn nach System Wetli von Wädensweil nach Einsiedeln. Handbuch für Spezielle Eisenbahntechnik von Heusinger von Waldegg. V. Bd., IV. Kap. 1878.

Maxwell, J. P. The New Zealand Government Railways. Institution of Civil Engineers. 1880.

Schneider, A. Die kombinierte Adhäsions- und Zahnradbahn von Blankenburg nach Tanne. 1885.

Rinecker, Fz. Das System Abt in Örtelsbruch. 1886.

Mutinelli, G. Il nuovo Sistema Abt di ferrovie ad Ingranaggio ed aderenza e le sue applicazione. Roma 1886.

Lindner, A. Die Geschichte der Zahnschienenbahnen bis zur Eröffnung der ersten Rigibahn. Glasers Annalen. 1886.

Glanz, W. Der Oberbau der vereinigten Zahnrad- und Adhäsionsbahn Blankenburg-Tanne. Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. 1886.

Molesworth Guilford, L. Report of the „Abt System" of ascending steep inclines. 1886.

Evans, Walton W. The Abt System of Railway for steep inclines. New York 1886.

Pontzen, E. Chemin de fer système Abt. Portefeuille des machines. Paris 1887.

Die Höllentalbahn von Freiburg nach Neustadt. Glasers Annalen. 1887.

Frank, A. Die Leistungsfähigkeit und das Verhalten der Lokomotiven für gemischte Zahnstangen- und Reibungsbahnen nach Abt's System. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure. 1887.

Bissinger, H. Die Zahnstange und der Zahnstangenoberbau der Höllentalbahn. Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. 1887.

Seguéla, M. Chemin de fer à crémaillère, Système Abt. Revue générale des chemins de fer. Paris 1888.

Böck, F. Das System Abt für kombinierten Adhäsions- und Zahnradbetrieb. Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architektenvereins. Wien 1888.

Abt, R. R. Abt's Zahnrad-Bahnbetrieb, Zahnstange und Zahnradlokomotive. Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. 1888.

Strub, E. Die Vitznau-Rigilokomotiven. Schweizer. Bauzeitung. 1891.

Abt, R. Mitteilungen über neuere Zahnradbahnen. Zeitschrift für Eisenbahnen und Dampfschiffahrt. Wien 1891.

Meyer, J. Chemin de fer de Viège à Zermatt. Lausanne 1891.

Abt, R. Generosobahn. Schweizer. Bauzeitung. 1891.

Jugovitz. Eisenerz-Vordernberg. Wien 1892.

Lévy-Lambert. Chemins de fer à crémaillère. Paris 1892.

Pfeuffer. Über den Bau der bosn.-herceg. Staatsbahnen. Wien 1892.

Seligmann, Fr. Die Erzbergbahn. Wien 1892.

Goering. Neuere Bergbahnen in der Schweiz. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure. 1892.

Artom di S. Agnesi ed Nicoli, N. Sui sistemi di ferrovie a dentiera. Roma 1892.

Pownal. On the Usui Railway. Institution of Civil Engineers. London 1894.

Röll, V. Encyklopädie des gesamten Eisenbahnwesens, VII. Bd. 1895.

Strub, E. Zum 25jährigen Jubiläum der Rigibahn. Schweizer. Bauzeitung. 1896.

Abt, R. Beirut-Damaskus. Schweizer. Bauzeitung. 1896.

Greulich. Die elektrische Zahnradbahn auf den Gornergrat. Schweizer. Bauzeitung. 1898.

Entwicklung des Zahnradsystems Abt während der letzten 10 Jahre in Österreich-Ungarn. Zeitschrift des öster. Ingenieur- und Architektenvereins. 1898.

XV. Kapitel.

Seilbahnen.

Bearbeitet von **Siegfried Abt,** Ingenieur in Winterthur (Schweiz).

(Mit 333 Textfiguren.)

Einleitung.

§ 1. Geschichtlicher Überblick. — Die Anfänge der Seilbahnen reichen bei den Chinesen und Indern auf Jahrtausende zurück; Spuren davon finden sich bei Ägyptern und Römern, sowie im Mittelalter, wo Packete und Briefe auf Luftseilbahnen befördert wurden. Der erste Draht wurde bei ägyptischen Ausgrabungen, das erste vollkommene Drahtseil bei den Ausgrabungen in Pompeji gefunden. Eine schwebende Seilbahn, allerdings von sehr einfacher Bauart, zeigt uns eine Schrift aus der Zeit der Hussitenkriege in Wort und Bild. Die Bahn diente zur Güterbeförderung über Schluchten und Wasserläufe mittels Trag- und Zugseil, sowie Laufring zum Tragen der Last[1]). Im IX. Kapitel seines im Jahre 1597 zu Venedig erschienenen Werkes »Delle fortificazioni« erwähnt Buonaiuto Lorini eine Seilbahn zur Beförderung von Erde bei Festungsbauten. Die beladenen Wagen wurden auf stark ansteigender Holzbahn mittels Haspel mit Spillen und Tretrad auf den Wall gezogen, dort entleert und alsdann auf der Holzbahn wieder hinabgelassen. Die Zuführungsbahn im Graben hatte Fall nach der Rampe hin, die Abführungsbahn oben auf dem Walle nach der Entleerungsstelle, so daß die gefüllten Karren auf beiden bergab liefen. Am Schlusse des angezogenen Kapitels erwähnt Lorini eine Abart seiner Seilbahn, wobei die Wagen mittels Rillenrädern auf zwei Seilen rollen, welch letztere somit die Schienen ersetzen. Diese Seilbahn soll leicht verlegt werden können und die Böschungen nicht beschädigen[2]).

Jakob Leupold, geb. 1674 zu Planitz bei Zwickau (Sachsen), gibt in seinen Abhandlungen genaue Einzelheiten über Seilbahnen.

Im Jahre 1840 spricht Michel Chevalier von einer schiefen Ebene in Amerika, auf welcher die mit Steinkohlen beladenen Wagen durch mit Wasser gefüllte Blechkästen in die Höhe gezogen wurden. Ende der vierziger Jahre waren in England auf der Grube North-Hetton zwei mechanische Seilförderanlagen von 4520 m und 2660 m Länge im Betriebe, ebenso auf der Sherburn-Grube bei Durham mehrere, verschieden lange Förderstrecken.

---

1) Siehe: Beck, Beiträge z. Geschichte des Maschinenbaues, S. 291.

2) Siehe: Beck, Beiträge z. Geschichte des Maschinenbaues, S. 246 u. 247.



In Deutschland wurde im Jahre 1859 die erste mechanische Seilförderung (über Tag) auf der Grube Heinitz bei Saarbrücken eingerichtet; 1862 eine andere in dem 1770 m langen »von der Heydt-Stollen« der Grube »von der Heydt«. Die Ersparnisse bei dieser Anlage beliefen sich, gegenüber den früheren Kosten bei Pferdeförderung, im ersten Jahre auf 40 v. H., im zweiten auf 48 v. H. und in den folgenden auf 60 v. H. Diese günstigen Ergebnisse bewogen auch andere Gruben Seilförderungen einzurichten. 1865 wurde in Saarbrücken der 3770 m lange Lampenneststollen, 1866 der 1760 m lange Burbachstollen mit Seilen versehen. Es waren demnach im Jahre 1866 allein auf »von der Heydt« drei Seilförderungen mit 7300 m Länge im Betriebe. Als 1871 auf der »von der Heydt-Grube« ein 530 m langer Versuchsstollen mit einem Seil ohne Ende unbefriedigende Ergebnisse lieferte, wurde 1872 der Kettenbetrieb eingerichtet, so daß in Deutschland, wie ursprünglich der Seilbetrieb, nun auch der Kettenbetrieb von Saarbrücken aus bekannt wurde. Damals waren die Seile für den gedachten Zweck zu schwer und überhaupt unzweckmäßig angeordnet; mit den Fortschritten der Drahtseilindustrie sind später die Mängel behoben worden, so daß das Seil sich im Laufe der Zeit seine alten Rechte zurückerobert hat, die Kette bei besonderen, durch örtliche Verhältnisse gebotenen, Ausnahmen belassend.

In Frankreich dienten die schiefen Ebenen von Saint-Étienne nach Roanne und von Alais nach Beaucaire zur Steinkohlenförderung. Von 1840 bis 1871 fand das endlose Seil auf der schiefen Ebene von Lüttich, nach Maus'scher Bauart, für Güterbeförderung seine erste Anwendung. 1841 wurde die schiefe Ebene Erkrath-Hochdahl, auf der Linie Düsseldorf-Elberfeld, für Seilbetrieb eingerichtet. Anfänglich war oben eine feststehende Maschine, später nur eine Umkehrrolle für das Seil angeordnet.

Die erste, technisch brauchbare, schwebende Seilbahn kommt nachweisbar am Anfang des 15. Jahrhunderts vor, wie aus dem sogenannten Feuerwerkbuch von Johann Hartlieb aus dem Jahre 1411 hervorgeht[3]). Nach einer beigefügten Randzeichnung wurden zur Versorgung einer Burg mit Lebensmitteln Körbe an einem Seil ohne Ende über den tief eingeschnittenen Schloßgraben gefördert.

Die Geschichtsurkunde der Stadt Danzig besagt, daß 1644 der holländische Ingenieur Adam Wybe von Harlingen eine Seilbahn zur Erdbeförderung vom Bischofsberg der Stadt über einen Fluß und den Stadtgraben hinweg nach dem Wall gebaut habe. Die Anlage war sehr unvollkommen wegen der Anwendung von Hanfseilen und fest damit verbundenen Fördergefäßen[4]). Die ursprüngliche Form der schwebenden Seilbahnen findet sich in den Riesen, bei welchen die meist an einer oder an einem Paar von Rollen hängende Last durch ihr Eigengewicht abwärts gleitet. Als Urheber der Draht- und Seilriesen, insbesondere zur Holzförderung, werden die schweizerischen Förster Frankenhauser und Strübin genannt, und sind solche Bahnen in den fünfziger Jahren zuerst in Kärnten, Tirol, der Schweiz und in Savoyen zur Ausführung gekommen. Im schweizerischen Kanton Tessin bestand in Riva S. Vitale im Jahre 1849 eine Holzriese von 1050 m Länge, welche durch ein Hanfseil von 40 mm Durchmesser gebildet wurde[5]). Zu den Riesen können wir auch alle vom Freiherrn Franz v. Dücker ausgeführten Draht- und Seilbahnen rechnen. Die ersten Versuche dieses Ingenieurs stammen aus dem

[3]) Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1877.

[4]) Glasers Annalen 1894, Bd. 34, Nr. 405, Heft 9.

[5]) 3° Annuario della società degli Ingegneri ed Architetti nel Cantone Ticino, 1899—1901, pag. 69.

Jahre 1861 und wurden zu Bad Oeynhausen und Bochum ausgeführt. Die zur Gipsförderung bestimmte Drahtseilbahn in Osterode am Harz wurde 1871 gebaut und hatte ein Gleis von 447 m Länge aus 26 mm dicken Rundeisen. Die Fördergefäße waren aus Holz, ebenso die in Abständen von 6 bis 20 m aufgestellten Unterstützungen. Im Jahre 1872 baute Dücker eine doppelspurige Seilbahn in Metz mit einer größten Leistung von 250 Tonnen im Tage. Eine der ältesten derartigen Ausführungen in Amerika ist die seit 1868 im Betrieb stehende Drahtseilriese in Clear-Creek-County, von G. W. Cypher in Cambertville für das dortige Silberbergwerk ausgeführt. Ein etwas umständliches, aber wohldurchdachtes Beispiel einer Drahtseilriese war die schwebende Bahn von Minden, entworfen und ausgeführt durch Baumeister Mölle[6]). Das ursprüngliche engliche Patent von Charles Hodgson, Nr. 2281 vom 20. Juli 1868, enthält bereits die Grundsätze der meisten seither gemachten und gesetzlich geschützten Verbesserungen der sogenannten englischen Bauart. Die Erfindung besteht darin, daß Lasten in geeigneten Gefäßen mittels eines zwischen zwei festen Punkten gespannten Seiles derart in der Luft befördert werden sollen, daß dieses Seil in verschiedenen Zwischenpunkten unterstützt werden kann, ohne die mittels Tragsätteln auf dem Seil ruhenden Wagen beim Darüberfahren zu behindern; daß die Bewegung mittels endlosem Seil bewirkt und daß dieses Seil die Wagen mitführen und tragen soll. Die erste Ausführung, welche der Erfinder in Richmond machte, bestand in einer kleinen, durch ein Pferd betriebenen Seilbahn[7]). Die Patente von Charles Hodgson wurden von der Wire Tramway Co. Ltd. erworben, deren Ingenieure Ch. Hodgson und W. T. H. Carrington waren. Später erwarben Bullivant & Co. und Carrington alle Patente, welche in der Hauptsache durch das erste Patent von Hodgson gedeckt waren. Das Patent ist jetzt schon längst abgelaufen, doch betreibt die Firma Bullivant & Co., Limited in London den Bau von Hodgson'schen Seilbahnen als Spezialität.

Nachdem der Hauptübelstand, nämlich die starre Verbindung der Tragsättel mit dem Wagenkasten, beseitigt war, kamen bis 1872 schon 33 solcher Einseilbahnen in Betrieb. Carrington verbesserte die Sättel durch Anwendung von Gummiplatten, welche das Seil zwischen sich klemmten.

Ende 1873 wurde für die Grube »Hölle« bei Teuschenthal (bei Halle a. S.) die erste Seilbahn mit getrenntem Trag- und Zugseil (deutsche Bauart) durch die ehemalige Halle-Leipziger Eisengießerei und Maschinenbau-Gesellschaft zu Schkeuditz erstellt und im Juli 1874 betriebsfähig übergeben. Von den bei diesem Bau beschäftigten Technikern: A. Kremer, Bleichert und Otto befaßten sich die beiden letztgenannten auch fernerhin mit dem Baue schwebender Seilbahnen. Kremer war Direktor der Halle-Leipziger Eisengießerei und Maschinenbau-Aktiengesellschaft in Schkeuditz und Otto Betriebsingenieur (Werkstattchef) derselben, während Adolf Bleichert (geb. 31. Mai 1845 zu Dessau, gest. 29. Juli 1901 in Davos-Platz)[8]) Oberingenieur der Firma war. Kremer meldete bald nach Eröffnung seiner ersten Bahn Konkurs an, und ist auf dem Gebiete des Drahtseilbahnbaues nicht mehr hervorgetreten. Bleichert, der Erfinder und Bahnbrecher für das Seilbahnsystem deutscher Bauart, hatte schon kurz vor Übergabe der ersten Drahtseilbahn seine Stellung aufgegeben und sich selbständig gemacht, um mit Otto die Ver-

[6]) Handb. f. spez. Eisenbahn-Techn. V. Bd. S. 551.

[7]) Handb. f. spez. Eisenbahn-Techn. V. Bd. S. 556.

[8]) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. Bd. XXXXV, S. 1364.

suche weiter zu führen. Schon 1874 wurde von der Firma Bleichert & Otto, nach Entwürfen von Bleichert eine Versuchsbahn auf dem Grundstück der Brandt'schen Ziegelei in Gohlis bei Leipzig erbaut, wobei der sogenannte Exzenter-Friktionskuppelungsapparat zum erstenmal angewendet wurde. Sämtliche Patente wurden von Bleichert auf seinen Namen genommen.

Im Jahre 1875 wurden die Drahtseilbahnen in Saßnitz für Geheimrat von Hansemann, diejenige in Lebbin usw. gebaut. Otto trat 1876 aus der Firma aus, und erhielt die Erlaubnis, nach einigen Patenten in Deutschland Drahtseilbahnen zu bauen; während Bleichert zunächst unter der Firma Adolf Bleichert, die heutige Firma Adolf Bleichert & Co., das Geschäft weiterführte. Es ist unstreitig Bleicherts Verdienst, wenn Deutschland auf diesem Seilbahngebiet den führenden Rang einnimmt, und kann das Ottosche System füglich als eine Abart des Bleichert'schen betrachtet werden, da es sich von letzterem nur in Detailanordnungen unterscheidet.

Faustus Verantius gibt um 1617 die erste Abbildung einer schwebenden Seilbahn für Personenbeförderung[9]), und die erste ausgeführte Seilbahnanlage für Personen- und Güterbeförderung finden wir im Jahre 1830 auf der Liverpool-Manchester-Eisenbahn. Damals wagte noch niemand Gefälle von mehr als 2 v. H. mit gewöhnlichen Lokomotiven zu befahren. 1840 wurde die mit Seil betriebene Linie London-Blackwall durch Robert Stephenson auf einem Steindamm gebaut. Da dieselbe in das Innere von London führte, hatte der Feuersgefahr wegen kein Lokomotivbetrieb eingerichtet werden dürfen. Die Linie besaß eine Länge von 6300 m und fünf Stellen, an denen, ohne Anhalten des Zuges, Wagen abgegeben werden konnten. 1848 wurde dann zum gewöhlichen Lokomotivbetrieb übergegangen. Durch die beiden Stephenson wurden noch verschiedene Seilbahnen angelegt, so die Linien von Hetton, Stockton-Darlington, Cronford-Peakforest und andere. Auf letzterer Linie war eine Kette an Stelle des Seiles angebracht worden, die aber häufig brach und Betriebsstörungen herbeiführte.

Im Jahre 1862 bauten Molinos und Pronier in Lyon eine schiefe Seilebene für Personen- und Güterverkehr, welche am obern Ende der Strecke eine feststehende Dampfmaschine hatte. Die Steigung war eine gleichmäßige und betrug 16 v. H.

1870 wurde die Drahtseilbahn Ofen-Königsburg mit feststehender Dampfmaschine am untern Ende der Strecke eröffnet. Rasch folgte dann eine Reihe ähnlicher Anlagen, so 1873 die Seilbahn nach dem Leopoldsberg bei Wien, 1874 die Drahtseilbahn Bauart G. Sigl nach der Sophienalp (beide längst wieder außer Betrieb), 1877 Lausanne-Ouchy (wagerechte Länge $L = 1475{,}9$ m; schief gemessene Länge (Betriebslänge) $L_1 = 1481{,}5$ m; Höhenunterschied $H = 105{,}56$ m, Steigungen $s = 2{,}5 \div 12{,}0$ v. H.); 1879 Gießbachbahn im Berner Oberland mit erster Anwendung der Abt'schen selbsttätigen Ausweiche und einer Zahnstange als Bremsmittel ($L = 320$ m, $L_1 = 333$ m, $H = 90$ m, $s = 24 \div 32$ v. H.); dann in den letzten 25 Jahren die einschienige Bahn auf den Vesuv (seit dem Jahre 1902 durch eine gewöhnliche Seilbahn ersetzt); die Bahnen Territet-Glion ($L = 553$ m, $L_1 = 630$ m, $H = 298{,}3$ m, $s = 40 \div 57$ v. H.); Gütsch bei Luzern ($L = 153{,}27$ m, $L_1 = 173$ m, $H = 81{,}03$ m, $s = 50 \div 53{,}1$ v. H.); Lugano-Bahnhof [Abts neue Ausweiche] ($L = 238$ m, $L_1 = 244$ m, $H = 56{,}84$ m, $s = 20$—24 v. H.); Funicolari al Vomero (Neapel), Linie Montesanto-San Martino ($L = 780$ m, $L_1 = 800{,}36$ m,

[9]) Beck, Beiträge z. Gesch. d. Maschinenbaues, S. 525.

H = 179,4 m, s = 23 v. H.); Linie Chiaja-Vomero (L = 565 m, L_1 = 587,96 m, H = 162,72 m, s = 28,8 v. H.); Zürich-Polytechnikum (L = 163 m, L_1 = 167 m, H = 38,38 m, s = 20 ÷ 26 v. H.); Biel-Magglingen (L = 1625 m, L_1 = 1684 m, H = 443 m, s = 20 ÷ 32 v. H.); Bürgenstock (L = 827 m, L_1 = 940 m, H = 440 m, s = 32 ÷ 58 v. H.); Beatenberg am Thunersee (L = 1600 m, L_1 = 1695 m, H = 556 m, s = 28 ÷ 40 v. H.); Hâvre-la-Côte (L_1 = 360 m, H = 85 m, s = 15—41,5 v. H.); Ecluse-Plan [Neuenburg] (L = 368 m, L_1 = 384 m, H = 108,68 m, s = 22—37 v. H.); Monte San Salvatore (L = 1507,1 m, L_1 = 1633 m, H = 601,6 m, s = 17 ÷ 60 v. H.); Prag-Belvedere (L_1 = 109 m, H = 35 m, s = 35,5 v. H.); Prag-Laurenziberg (L_1 = 397 m, H = 104 m, s = 29 v. H.); Hohensalzburg (L_1 = 199 m, H = 102 m, s = 61 v. H.); Lauterbrunnen-Grütschalp [Berner-Oberld.] (L = 1207 m, L_1 = 1381 m, H = 669,5 m, s = 40 ÷ 60 v. H.); Ragaz-Wartenstein (L = 760,4 m, L_1 = 788 m, H = 207,6 m, s = 23,5 ÷ 31,1 v. H.); Stanserhorn [erste Anwendung der Zangenbremse] (L = 1524,7 m, bezw. 963,6 m, bezw. 1111,8 m; L_1 = 1547 m, bzw. 1090 m, bzw. 1276 m; H = 262 m, bzw. 508 m, bzw. 628 m; s = 8 ÷ 27 v. H., bzw. 40 ÷ 60 v. H., bzw. 40—63 v. H.); Genua-St. Anna; Dolderbahn bei Zürich (L = 798,5 m, L_1 = 805 m, H = 100 m, s = 9,5—17,75 v. H.); Graz-Schloßberg (L_1 = 212 m, H = 109 m, s = 59,9 v. H.); Nischni-Nowgorod (zwei Seilbahnen von 250, bzw. 150 m Länge, s = 32 ÷ 40 v. H.); Heidelberg-Schloßberg; Davosplatz-Schatzalp (L = 640 m, L_1 = 707 m, H = 301 m, s = 36—47,4 v. H.); Gurtenbahn bei Bern (L = 1021 m, L_1 = 1053,5 m, H = 255,36 m, s = 19—33 v. H.); Seilbahn Rigiviertel in Zürich L = 284 m, L_1 = 291,75 m, H = 72 m, s = 19,9 bis 33 v. H.); Hohensyburg in Westfalen (L = 430 m, L_1 = 445 m, H = 93 m, s = 15,5 bis 31,6 v. H.); Montmartre in Paris (L = 105 m, H = 36,36 m, s [im Mittel] = 34,8 v. H.); Mendelbahn in Südtirol (L = 2184 m, L_1 = 2374 m, H = 854 m, s = 16,5 bis 64 v. H.); Reichenbachbahn im Berner Oberland (L = 661,28 m, L_1 = 707 m, H = 244,06 m, s = 25—61,7 v. H.); Vevey-Pélerin am Genfersee (L = 1513,5 m, L_1 = 1577,7 m, H = 412,82 m, s = 13—54 v. H.); Locarno-Madonna del Sasso am Langensee (L = 811,5 m, L_1 = 831 m, H = 173,4 m, s = 9,7—30 v. H.); Muottas-Muraigl bei Pontresina, Engelberg Grand Hotel Terrasse, Linthal-Braunwald, Zugerberg, Harderbahn und Heimwehfluhbahn, Seilbahn Karlsbad usw.

Als besondere Bauarten sollen noch erwähnt werden:

Bauart Agudio. Bei derselben wird durch ein Seil ohne Ende die Betriebskraft auf einen besonderen Triebwagen übertragen. Infolgedessen bewegt sich dieser am Schleppseil oder an der Zahnstange vorwärts und schiebt den Zug vor sich her. Im Jahre 1863 wurde diese Bauart auf einer kurzen Strecke der Linie Turin-Genua probiert und 1884 in etwas abgeänderter Form auf der Superga-Eisenbahn zur Anwendung gebracht.

Bei der Bauart Lebret windet sich die Lokomotive und damit der ganze Zug an einem zwischen den Schienen liegenden Seil empor, ähnlich wie die Schiffe bei der Kettenschleppschiffahrt stromaufwärts bewegt werden.

Die Bauart Handyside sieht eine Lokomotive mit Windeeinrichtung vor. Die Maschine fährt allein die Steigung hinauf, wird oben festgelegt und zieht dann die Wagen in die Höhe. Angewendet wurde diese Bauart auf der schiefen Ebene von Hopton (England)[10]. Im Jahre 1858 wurde in Philadelphia die erste Tau-

[10]) Annales des Ponts et Chaussées 1877.



bahn, eine Straßenbahn mit Seil ohne Ende (Tramway) von Es. Gardener durch Patent geschützt, aber nicht zur Ausführung gebracht. Die ersten Taubahnen (Kabelbahnen) in Städten wurden 1873 in San Francisco gebaut und fanden dann in ganz Nordamerika Verbreitung. Auch England und Australien besitzen in verschiedenen Städten Taubahnen, zum Teil sogar unterirdische (Glasgow, Melbourne), während auf dem europäischen Festlande nur in Lissabon und in Paris-Belleville solche bestehen.

Langens Bergschwebebahn, nach dem Prinzip der Einschienenschwebebahn Elberfeld-Barmen-Vohwinkel gebaut, kommt nur in ganz besonderen, durch örtliche Verhältnisse geschaffenen Fällen zur Anwendung. Auf eisernen Trägern liegen zwei Schienen, sowie die notwendigen Seiltragrollen. An jeder Schiene hängt an zwei Laufgestellen ein Wagen, von denen (weil durch ein gemeinsames Zugseil verbunden) immer einer bergwärts, der andere talwärts fährt. Die Betriebskraft ist dieselbe wie bei den Touristenbahnen. Die erste und bis jetzt einzige Ausführung dieser Art ist die Schwebebahn Loschwitz bei Dresden, ausgeführt von der Kontinentalen Gesellschaft für elektrische Unternehmungen in Nürnberg.

Lidgerwood-Millers Meerseilbahn ist eine besondere Ausführung der schwebenden Seilbahnen, dadurch sich unterscheidend, daß bei einer einfachen Spannung beide Stützpunkte auf Schiffen (meist das eine vom andern geschleppt) sich befinden, und auf einer einfachen Seillaufbahn mittels endlosem Zugseil ein Laufwerk hin- und zurückbewegt wird, an welchem die Ladung in Säcken hängt. In den meisten Marinen sind auf den großen Kriegsschiffen die notwendigen Einrichtungen getroffen, um auf hoher See Kohlen aufnehmen zu können. Dampf oder Elektrizität bewegen das Zugseil. Der erste Versuch wurde im Jahre 1898 von Spencer Miller im Hafen von New York gemacht.

Feldmanns Bergaufzug, für steile Berglehnen oder breite, tiefe Schluchten (Talbrücken) geeignet, besteht aus vier parallelen, oben verankerten, unten durch Gewichte gespannten Seilen, von denen je zwei senkrecht übereinander liegende ein Gleis bilden, und einen an einem Laufwerk hängenden Wagen tragen. Durch ein Zugseil verbunden, geht immer ein Wagen bergwärts, wenn der andere talwärts fährt. Als Triebkraft dient Wasserballast, Dampf-, Gas- oder elektrischer Motor. Die erste Ausführung erfolgte am Wetterhorn im Berner Oberland (Schweiz), wo der unterste Aufzug im Herbst 1906 betriebsbereit übergeben werden soll.

Verschiebebahnen (Rangierseilbahnen) sind ähnlich wie Taubahnen in Städten, nur daß sie dem Verschiebedienst in Werken mit Bahnanschluß dienen, und das Seil auf Rollen über dem Boden gelagert ist, so daß an jeder beliebigen Stelle der zu verschiebende Zug mittels Schleppleine und passendem Greifer angeschlossen werden kann.

Von allen Naturkräften dürfte die Schwere zuerst in den Dienst der Menschen gestellt worden sein. Diese Kraft in Verbindung mit einem Seil, einer Rolle zur Verminderung der Reibung am Umlenkpunkte und einer schiefen Ebene, bildet, so einfach die ganze Anordnung auch sein mag, ein vorzügliches Beförderungsmittel.

Irgend eine Last, auf eine schiefe Ebene gelegt, bewegt sich abwärts, sobald die der Ebene gleichgerichtete Seitenkraft der Schwere größer ist als die Reibung. Mit Hilfe von Seil und Rolle kann mittels diesem benutzbaren Überschuß an Kraft eine ihm entsprechende Last gehoben werden. Die treibende Kraft kann durch eine Winde unterstützt oder ersetzt werden, was im Laufe der Zeit auch wiederholt

geschehen ist. Nach Erfindung der Dampfmaschine wurde die alte, wenig leistungsfähige Handwinde mit der Dampfwinde vertauscht, auch wurden Wasserrad und Turbine, in neuester Zeit endlich der Elektromotor zu Hilfe genommen. Nach und nach entstanden die verschiedenen Arten der mechanischen Streckenförderung, die schließlich in den Kabel- bzw. Taubahnen gipfelten. Die Drahtseilbahnen in ihren mannigfaltigen Ausführungen bleiben jedoch stets ein Beförderungsmittel untergeordneten Ranges, weil ihre Beweglichkeit eine beschränkte, zwischen zwei feste Punkte eingeengte, ist. Trotz aller sonstigen Vorzüge sind sie darum nach und nach aus den Hauptlinien ausgeschaltet und durch vollkommenere Einrichtungen ersetzt worden. Als Nebenlinien und billigste Mittel zur Massenförderung auf kürzere Strecken (für Steinkohlen, Erze usw.) sind sie aber von großer Bedeutung; bei kurzer, steiler und wenig gekrümmter Anlage auch wohl geeignet, an Stelle des Zahnstangenbetriebes zu treten. Bei neueren Seilbahnen wurde die Zahnstange als Bremsmittel wieder beigezogen, zuerst im Jahre 1879 durch N. Riggenbach und Roman Abt am Gießbach (Berner Oberland). Mit Ausnahme vereinzelter Fälle werden jetzt keine Zahnradbremsseilbahnen mehr ausgeführt, sondern Keilkopfschienen, an welchen Zangenbremsen angreifen können, als Fahrbahn verlegt. [Erste Ausführung an der dreiteiligen, im Jahre 1893 eröffneten Seilbahn auf das Stanserhorn (Schweiz).]

Die ersten Seilbahnen benutzten Hanf- oder Bastseile, wodurch ein teurer Betrieb und häufige Störungen bedingt waren. Mit Einführung des Drahtseiles durch Oberbergrat Albert in Klausthal am Harz im Jahre 1834 trat das Seil in einen größern Anwendungskreis, aus dem es aber später nochmals für lange Jahre durch die Kette verdrängt wurde.

Erster Abschnitt.

Seilbahnen älterer Bauart.

§ 2. Seilbahnen für Güterbeförderung in Bergwerken. — Der Steinkohlen- und Braunkohlenbergbau verlangt billige Förderung großer Massen auf weite Entfernung. Dieses Ziel wurde anfänglich durch Verbesserung der Gleise, sorgfältige Ausbildung und Instandhaltung der Fahrzeuge, insbesondere aber durch mechanische Streckenförderung angestrebt. Diese letztere bietet unter anderen folgende Vorteile: Bedeutende Lufterspamis (für ein Pferd sind 10 cbm/min. Luft zu rechnen), somit die Möglichkeit, die Strecke mit mehr Leuten zu befahren; angenehmeren Aufenthalt in der Grube durch Wegfall der Pferde samt Stallungen mit ihrer Ausdünstung; Schonung der Wagen und Gleise; regelmäßige Förderung, bessere Ausnützung des Rollmaterials usw.

Anlagen von 500 bis 600 m Förderlänge sind schon lohnend, bei größeren Entfernungen steigt die Wirtschaftlichkeit bedeutend und übertrifft meist die Förderungen mit beweglichem Motor. Im allgemeinen ist bei sonst günstigen Verhältnissen die mechanische Streckenförderung dort angezeigt, wo sechs bis sieben Pferde erforderlich wären.

Es gibt drei Arten der mechanischen Streckenförderung:

1. Kettenförderung,
2. Seilförderung,
3. Lokomotivförderung.

Die unter 1 und 3 genannten Arten gehören nicht in den Rahmen dieser Abhandlung.

Unter Seilförderung verstehen wir diejenige Art der Förderung, bei welcher die Wagen auf einem ein- oder doppelspurigen Schienengleise mit Hilfe eines Seiles durch eine feststehende Maschine fortbewegt werden. Sie ist die älteste der im Bergwerksbetriebe angewandten Streckenförderungen und in den meisten Fällen zugleich die einfachste, billigste und zweckmäßigste. Die Teile einer maschinellen Seilförderung sind: Antrieb, Endstation, Förderseil, Mitnehmer. Als Nebenapparate sind zu nennen: Tragrollen, Seilhebeapparat, Kurvenrollen, Druckrollen, selbsttätige Anschlagapparate, Vorrichtungen zur Förderung aus Nebenstrecken, Greifwagen und Fangvorrichtungen.

Insbesondere werden unterschieden:

I. Förderung mit offenem Seil.
   1. Mit Seil und Gegenseil.
   2. Mit Vorder- und Hinterseil.
   3. Mit Seil und Verbindungsseil.

II. Förderung mit geschlossenem Seil.
A. Oberseil:
1. glattes Seil.
2. Knotenseil.
B. Unterseil.
III. Bremsberge.

Diese verschiedenen Arten sollen im folgenden kurz besprochen werden.

I. Förderung mit offenem Seil.

a) Einfach wirkende Förderung.

Förderungen mit offenem Seil kommen bei Neuanlagen kaum in Frage, da selbst bei eingleisigem Bau, der nur mit sehr bedeutenden Kosten zu erweitern wäre, ein endloses Seil, das am Stoße oder dem First entlang geführt wird, als das einzig richtige erscheint. Bei Förderungen mit offenem Seil werden stets Wagenzüge gebildet, da die Förderung einfach wirkend ist, d. h. während eines Treibens der Maschine ein leerer Zug nach der einen Richtung, während des folgenden Treibens ein beladener Zug nach der andern Richtung gefördert wird[11]). Bei den drei Förderarten mit offenem Seil muß, um nennenswerte Leistungen zu erzielen, mit großen Zügen von 100 bis 150 Wagen und großen Seilgeschwindigkeiten (bis zu 7 m/sek.) gearbeitet werden. Dies bedingt einen großen Wagenpark und tadellos verlegte Gleise, große Krümmungshalbmesser, eine bedeutende Spurweite und vorzügliche Achslagerung. In den englischen und schottischen Gruben liegen meist Schienen von 10 kg/m bei 675 bis 750 mm Spurweite. In Deutschland, und zwar im rheinischen und westfälischen Bezirk, finden sich selten Schienen von mehr als 7 kg/m Gewicht bei Spurweiten von 490 bis 630 mm. Diese Verhältnisse würden bei großen Fördergeschwindigkeiten vielfach Entgleisungen und Störungen herbeiführen.

1. Förderung mit Seil und Gegenseil.

Erforderlich sind dabei zwei Betriebsmaschinen mit je einer Fördertrommel zum Auf- und Abwickeln des zugehörigen Seiles. Ausrückbare Kuppelungen verbinden die Trommeln mit ihren Betriebsmaschinen. Die Förderstrecke ist nur an den Endpunkten auf etwas mehr als Zuglänge zweigleisig angelegt, um immer einen beladenen und einen leeren Zug aufnehmen zu können. Die Bedienungsmannschaft muß sich zwischen den Doppelgleisen bequem bewegen können. Die Stellung der in die Bahnsohle eingebauten Rollen ergibt sich aus Abb. 1. Ein Arbeiter legt mittels eines Hakens das Seil in die zwischen den Endsträngen liegenden Rollen und bedient die Weiche. Begleitet ein Führer den Zug auf seiner ganzen Fahrt,



Abb. 1. Förderung mit Seil und Gegenseil.

so fallen demselben diese Obliegenheiten zu. Das zum Fördern des beladenen Zuges dienende Seilstück wird »Seil«, das zum Fördern des leeren Zuges dienende »Gegenseil« genannt. Dabei kann das »Seil« schwächer sein als das »Gegen-

[11]) Eingehendes über die älteren Bauarten siehe: v. Hauer, Fördermaschinen der Bergwerke.

seil«, wenn die Neigung der Bahn zugunsten des beladenen Zuges liegt. Die Gesamtlänge der Seile ist gleich der doppelten Förderlänge; da beide voneinander unabhängig sind, können beliebig lange Züge gebildet werden. Diese Förderart fand zwischen 1859 bis 1872 in Saarbrücken am meisten Anklang. In der Grube »von der Heydt« beliefen sich die Förderkosten bei Streckenlängen von 1770 m bis 3950 m auf 3,67 bis 3,43 Pfennig für das Tonnenkilometer. Dabei fuhren Züge von 90 bis 120 Wagen mit 3,35 m/sek. Geschwindigkeit.

2. Förderung mit Vorder- und Hinterseil.

Diese, wohl die älteste aller maschinellen Streckenförderungen, erfordert nur eine Betriebsmaschine mit zwei Seiltrommeln *a* und *b* (Abb. 2), welche abwechselnd gekuppelt werden können. Die Züge werden zwischen zwei getrennte Seile eingeschaltet, welche zusammen die dreifache Streckenlänge haben. Das von der Trommel *a*

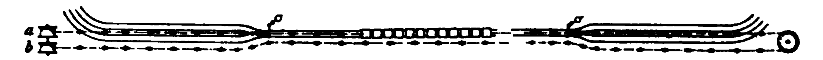


Abb. 2. Förderung mit Vorderseil und Hinterseil.

zum Wagenzug gehende Seil dient zum Fördern des beladenen Zuges, heißt »Vorderseil« und liegt auf Tragrollen in der Mitte der Bahn. Das hinten am Zug anschließende, auf die Trommel *b* auflaufende »Hinterseil« wird neben dem Schienengleise am Streckenstoße in beliebiger Höhe (Abb. 3) oder aber in der Streckenfirste auf Rollen geführt; es kann auf ganz ebener Bahn, weil weniger beansprucht, etwas leichter gehalten werden als das Vorderseil. Das Hinterseil ist doppelt so lang wie das Vorderseil, und die Zahl der einzubauenden Rollen doppelt so groß als bei der Förderung mit Seil und Gegenseil. Es müssen stets Züge von gleicher Länge zusammengestellt, oder, was aber weniger bequem ist, Seilstücke zum Einpassen bereit gehalten werden. Zum Anhängen an den Wagen erhalten die Seilenden gewöhnlich Haken, oder es werden besondere Zugwagen benutzt. Die Auslösung des Seiles vom Wagenzuge kann auch selbsttätig erfolgen.

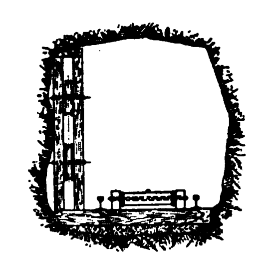


Abb. 3. Seilführung.

3. Förderung mit Seil und Verbindungsseil.

Diese, richtiger als Förderung mit zwei Vorderseilen und einem Hinterseil zu bezeichnende Einrichtung findet sich zu Gartsherril bei Glasgow für 100 m Bahnlänge. Wie in Abb. 2 liegen zwei Seiltrommeln nebeneinander, von denen die beiden Vorderseile nach den Zügen ablaufen, während ein drittes Seil die Verbindnng herstellt, und am Streckenende über eine Spannscheibe geleitet ist. Ein- und Ausschalten der Züge findet nicht statt. Es fährt je ein Gestellwagen, welcher zwei Förderwagen aufzunehmen vermag. Zum Aufziehen der letzteren bestehen besondere Vorkehrungen. Die Fördergeschwindigkeit ist bedeutend, aber die Anlage für größere Förderlängen wenig leistungsfähig.

b) Doppelt wirkende Förderung.

In söhligen Strecken wird die doppelt wirkende Förderung mit offenem Seil sehr selten angewendet, wohl aber bei der flachen Förderung und hier im besonderen bei den Bremsbergen, bei welchen die Last abwärts, die entladenen Wagen bergwärts

fahren. In Abb. 4 ist die Grundform einer doppelt wirkenden Förderung mit offenem Seil dargestellt[12]). Geht die Förderung der beladenen Wagen von A nach B, so dient das Mittelgleis $a\,b$ zur Aufnahme des beladenen Zuges, die Weiche W_1 vermittelt den Übergang zu den beiden Hauptgleisen I und II. Die Gleise $c\,d$ und $e\,f$, durch die Weichen W_2 und W_3 mit den Gleisen I und II verbunden, nehmen den von B kommenden leeren Zug abwechselnd auf. In gleicher Weise wird beim Endpunkte B das Gleis $g\,h$, durch die Weiche W_4 mit den Gleisen der Hauptbahn verbunden, die zu einem Zuge zusammengestellten leeren Wagen aufnehmen. Die beiden äußeren Gleise $i\,k$ und $l\,m$, die durch die Weichen W_5 und W_6 mit den Gleisen I und II verbunden sind, nehmen abwechselnd die von A kommenden beladenen Züge auf.

Die Betriebsmaschine hat dieselbe Bauart wie die Maschinen für Förderung mit Vorder- und Hinterseil.

Hat die Förderstrecke nicht die für eine doppelspurige Bahn notwendige Breite, oder handelt es sich darum, die Anlagekosten möglichst niedrig zu halten, so kann die Bahn nach Abb. 5 oder Abb. 6 ausgeführt werden, die vorher beschriebene dreigleisige Anordnung der Anschlagepunkte muß aber beibehalten werden.

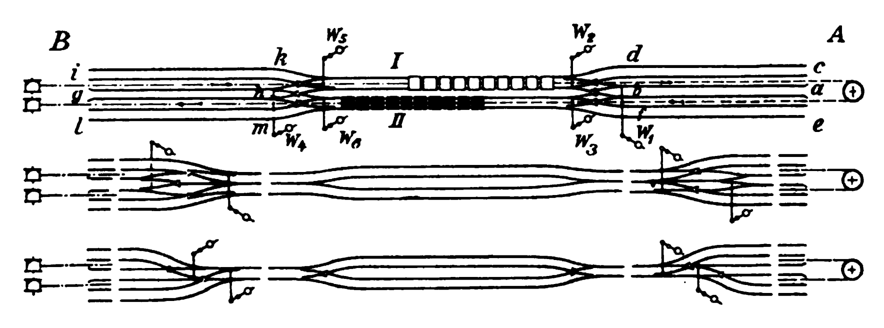


Abb. 4, 5, 6. Doppelt wirkende Förderung. Gleisanordnung.

In Abb. 5 tritt an Stelle der beiden inneren Schienen des doppelten Gleises eine einzige, beiden Gleisen gemeinsame Schiene. An der Kreuzungsstelle der Züge ist die Schienenbahn auf etwas mehr als Zuglänge doppelspurig hergestellt. Die Abnutzung der Mittelschiene ist doppelt so groß als bei den äußern Schienen.

Bei der dritten Anordnung, Abb. 6, ist das Gleis bis nahe an die Ausweiche einspurig, in derselben aber zweispurig. Die ganze Anordnung paßt nur für vollkommen gerade Strecken. Eine Förderung aus Seitenstrecken kann mit keiner der angeführten drei Anlagen gut verbunden werden. Förderungen mit geschlossenem, bezw. endlosem Seil sind immer vorzuziehen. Der Betrieb der genannten Förderarten mit offenem Seil gestaltet sich in der Hauptsache gleich. Die Betriebsmaschine wird zweckmäßig mit Umsteuerung versehen. Der Trommeldurchmesser soll mindestens das Hundertfache des Seildurchmessers betragen; die Trommellänge, bei drei übereinander liegenden Seilringen, nur 1,5 m. Jede Seiltrommel wird mit einer, durch ein Handrad einstellbaren, Bandbremse versehen, welche durch einen Hebel auch plötzlich betätigt werden kann. Zuverlässige Streckenzeiger, auf welchen alle Punkte bezeichnet sind, die besondere Aufmerksamkeit erfordern, lassen den Maschinenwärter in jedem Augenblick erkennen, wo der Zug steht. Diese Strecken-

[12]) Vgl. Braun, Seilförderung, S. 37 u. f.



zeiger sind entweder in Uhrenform gebaut, oder es bewegt sich ein Zeiger längs einer Latte.

Zum Gleis werden meist Schienen von 4 bis 14 kg/m Gewicht, mit 75 bis 80 mm Höhe, 30 bis 35 mm Kopfstärke, 60 bis 65 mm Fußbreite und 6 bis 8 mm Stegdicke mit Laschenbefestigung verwendet. Schienen aus zähem Eisen nützen sich zwar rascher ab als Stahlschienen, sind diesen jedoch vorzuziehen, da sie bei Stößen nicht so leicht brechen, und sich beim Verlegen in Krümmungen auch leichter biegen lassen. Als Unterlage dienen meist eichene Querschwellen von 100 mm Dicke und 120 bis 150 mm Breite, in Abständen von 800 bis 1000 mm verlegt. Sie sind mit Zinkchlorid, Kreosotöl oder nach dem Hasselmann'schen Verfahren imprägniert. Die Bettung erfolgt in Steinschlag, Kies oder Schlacke. Die Schienenbefestigung wird meist mit gewöhnlichen Hakennägeln ausgeführt.

In der geraden Strecke liegen die Seile auf zylindrischen Rollen von 150 bis 200 mm Breite und 200 bis 250 mm Durchmesser, die lose auf einer 20 bis 25 mm starken Achse sitzen. Rollen mit fester Achse »ecken« sich leicht[13]). Um den Seilverschleiß zu verringern, werden meist Rollen aus Rotbuchenholz verwendet und wird zum Schutze derselben auf je drei oder vier Stück eine Eisenrolle (Abb. 7) eingebaut. Bandeisenbeschläge an den Enden der Holzrollen verhüten deren Aufspringen. Der Rollenabstand schwankt zwischen vier und sechs Metern. In Krümmungen werden entweder zylindrische Rollen mit lotrechter Achse, zwischen welche wagerechte Rollen eingebaut sind, oder an Stelle der beiden genannten Arten schiefe Rollen nach Abb. 8 eingesetzt. Rutscht bei letzteren infolge ungenügender Spannung das Seil aus, so führt es die schiefe Ebene des Stühlchens immer wieder der

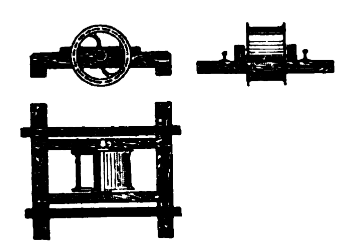




Abb. 7. Eisenrolle für die gerade Strecke.

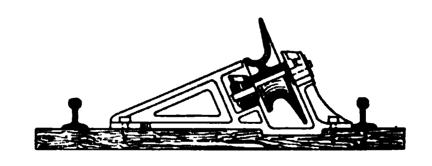


Abb. 8. Schiefgestellte Rolle für Krümmungen.

Rolle zu. Bei plötzlichem Anziehen kann dabei allerdings das Seil über die Rolle wegspringen, aber durch besondere Rollen zurückgehalten werden. Folgt eine Gegenkrümmung, so ist durch Einbau von zylindrischen, wagerechten, sowie schwach geneigten Rollen ein allmählicher Übergang herbeizuführen. Im einspurigen Teil der Strecke sind die Rollen zwischen die Schienen, an den doppelspurigen Enden zwischen die Gleise eingebaut.

Wagenfänger sollen dazu dienen, die in den Zügen entgleisten Wagen den Schienen wieder zuzuführen und so Beschädigungen zu verhindern. Sie bestehen aus einem Balkengebilde, das teilweise mit Blech beschlagen ist, und dessen an den Enden angebrachte, schräg gestellte Hölzer sogenannte Fangfrösche bilden. Die gegenseitige Entfernung der Wagenfänger beträgt 150 bis 250 m, doch empfiehlt es sich, solche am Anfang und Ende jeder Krümmung einzurichten.

---

[13]) Braun, Seilförderung, 1898, S. 19.



Abb. 9 zeigt eine Seilführungsvorrichtung, welche mittels Schraubenspindel, Vorwärts-, Rückwärts- und Leerrolle den Seilführungswagen bewegt und das richtige Auflaufen des Seiles regelt. Die Überführung des Seiles von der beschriebenen Vorrichtung nach der Förderstrecke ist in Abb. 10 dargestellt und be-

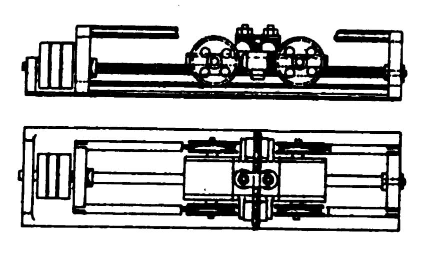


Abb. 9. Seilführungswagen.

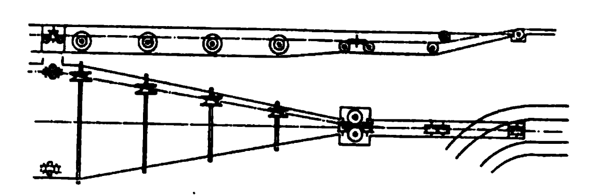


Abb. 10. Seilführungsvorrichtung.

steht aus verschiebbaren Rollen, welche dem Richtungswechsel des auf eine längere Trommel auflaufenden Seiles folgen können. Bei einer andern Seilführung tritt eine umklappbare Zahnstange an Stelle der oben beschriebenen Riemenscheiben[14]).

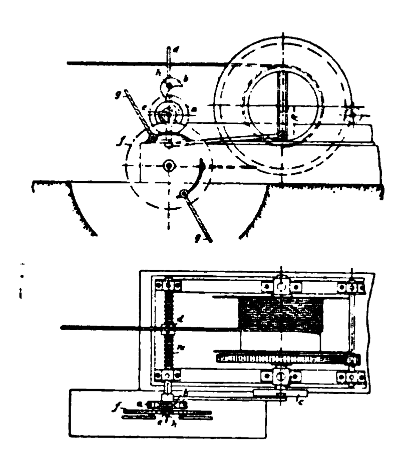


Abb. 11. Seilleiter.

Die in Abb. 11 dargestellte Vorrichtung dient zum Führen des sich auf- oder abwickelnden Seiles. Dieser der Firma Heckel in St. Johann-Saarbrücken geschützte Seilleiter ist folgendermaßen aufgebaut[15]). Auf der mit einfachem Gewinde versehenen Welle w sitzt lose ein lotrechter, doppelarmiger Hebel, welcher unten von der Kurbelscheibe c mit veränderlichem Halbmesser bewegt wird und oben eine Schaltklinke b trägt, die in ein auf w festsitzendes Zahnrad a greift, dieses schaltweise rechts oder links dreht und so die Gabel d auf w vorwärts oder rückwärts, entsprechend der Trommeldrehrichtung, bewegt. Der von der Seilstärke abhängige Vorschub wird an dem Kurbelhalbmesser R eingestellt. Auf w sitzt noch ein kleines Zahnrad e, welches das tiefer gelegene Zahnrad f treibt; dieses enthält in konzentrischen Schlitzen die Umschaltstangen $g\,g$, die durch Anschlagen an den Stift h die Klinke b umlegen und so die Bewegung von a, w und d umkehren. Durch die Verschiebbarkeit der Stangen $g\,g$ in den Schlitzen ist die Umschaltperiode veränderlich gemacht.

Bei der Förderung in Zügen ist die Sicherheit des Betriebes wesentlich abhängig von den einzelnen Wagenverbindungen. Für die Förderwagen ergibt sich eine verminderte Beanspruchung, wenn sie mit durchgehenden Zugstangen versehen sind. In der Regel ist dann an dem einen Ende der Zugstange ein Haken, an dem anderen dagegen eine ringförmige Öse angeschmiedet, in die ein Kettenglied oder das Glied einer zweiteiligen Kuppelungskette eingeschweißt ist.

Kommen in der Strecke stärkere Krümmungen vor, so ist ein selbsttätiges Einlegen des nachgeschleppten Seiles in die Rollen nicht mehr mit Sicherheit zu

[14]) Braun, Seilförderung, S. 15.

[15]) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1903. Rasch, Gewerbeausstellung in Düsseldorf.

erwarten, und muß dann an den letzten Wagen eine Seilführungsvorrichtung angehängt, oder aber der Zug von einem Arbeiter in dem sogenannten Zugführerwagen begleitet werden. Der Wagen ist mit der genannten Seilführungsvorrichtung versehen und bildet den Schluß des Zuges. Er enthält auch alle bei Brüchen an Seil und Zugstangen notwendigen Werkzeuge. Lange Züge werden vorn und hinten durch einen Führerwagen abgeschlossen.

Um Seitenstreckenförderungen bewerkstelligen zu können, wird durch Seilkuppelungen (Abb. 12) das Seil der Nebenstrecke an das der Hauptstrecke angeschlossen. Das Lösen des Seiles vom Wagenzug erfolgt entweder durch den Führer, oder selbsttätig durch eine Querstange, gegen welche ein Winkelhebel am Wagen schlägt, wodurch z. B. (Abb. 13) der Zugbolzen ausgehoben wird.

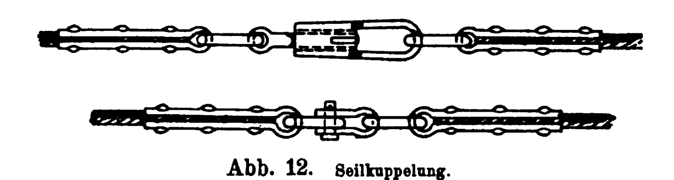


Abb. 12. Seilkuppelung.

II. Förderung mit geschlossenem Seil.

Im Vergleich zu den Förderarten mit offenem Seil hat diejenige mit geschlossenem Seil folgende Vorteile:

1. Volle Betriebssicherheit.
2. Große Leistungsfähigkeit bei der durch die gegebenen Verhältnisse bedingten geringen Fördergeschwindigkeit von 0,5 bis 1,5 m/sek.
3. Krümmungen mit 7,5 m Halbmesser und weniger werden ohne Seilauslösung störungsfrei durchfahren.
4. Es können beliebig viele Anschlagpunkte eingeschaltet werden.
5. Die Förderung findet ohne Beachtung der Wagenabstände statt und erreicht bis zu 400 Wagen in der Stunde.
6. Die Förderkosten sind sehr gering.

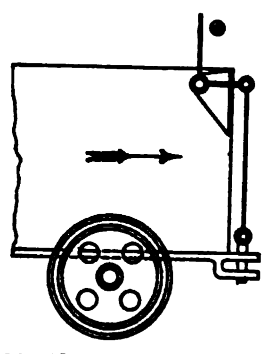


Abb. 13. Seillösungsvorrichtung.

A. Förderung mit Oberseil.

Während der Anschluß von Zügen an das Seil keinerlei Schwierigkeiten bereitet, hat sich für den Anschluß der Einzelwagen bis jetzt noch keine unbedingt befriedigende Lösung gefunden. In England hatte das glatte Seil von jeher den Vorzug, während in Deutschland das Seil mit künstlichen Verdickungen, sogenannten Knoten, vorzugsweise Anwendung fand und sich auf sehr vielen Gruben auch bis heute gehalten hat. Dementsprechend unterscheiden wir zwischen Förderung mit glattem Seil und Förderung mit Knotenseil. Jede der beiden Arten findet ausgedehnte Anwendung, doch überwiegt bei Neuanlagen das glatte Seil.

1. Förderung mit glattem Seil. Bei derselben erfolgt der Anschluß des Wagens an das Seil durch ein Zwischenglied, den Mitnehmer oder Seilgreifer, dessen unteres Ende an einer der Wagenkopfwände, oder auf einem Querbügel in der Wagenmitte aufgesteckt ist, während das obere Ende die zur Aufnahme des Seiles dienende Vorrichtung bildet. Zuweilen kommt eine leichte Kette zur Ver-

wendung, deren eines Ende am Zughaken des Wagens hängt, während das andere durch Umschlingung am Seil befestigt ist und so selbsttätiges Lösen ausschließt. Es kann wieder Förderung mit selbsttätiger Wagenauslösung und solche ohne selbsttätige Lösung unterschieden werden.

Bei Anwendung von Mitnehmern wird das Seil von diesen getragen und befindet sich über den Wagen; bei Anwendung von Anschlußkettchen liegt es auf den Wagen selbst. Erstere Art ist gebräuchlicher.

a) Förderung mit selbsttätiger Wagenauslösung.

Ein brauchbarer Mitnehmer darf durch seinen Anschluß, der rasch selbsttätig oder leicht von Hand bewirkt werden soll, das Seil nicht beschädigen, er soll sich nicht zu früh lösen, kräftig, jedoch in Anbetracht der bequemen Handhabung leicht gebaut und, wie alle dem unterirdischen Betriebe dienenden Vorrichtungen, einfach und mit möglichst wenig beweglichen Teilen ausgerüstet sein. Anschaffungs- und Unterhaltungskosten müssen gering und Krümmungen ohne Wagenauslösung durchfahrbar sein.

Trotz zahlreicher Versuche ist die Bauart der meisten Mitnehmer noch nicht einfach genug, und es werden öfters die ältesten, einfachsten Bauarten wieder vorgeholt. Der in Abb. 14 in seiner ursprünglichen Form dargestellte englische Mitnehmer (Klemme oder Gabel) besteht aus einem 25 bis 30 mm starken Rundeisen, das durch U-förmiges Umbiegen den nach oben offenen Seilschlitz *s* erhält. Der lotrechte Schaft *a* dreht sich in zwei Ösen an der Wagenkastenstirnwand und der Mitnehmer wird durch den aufgeschweißten Bund *b* stets in gleicher Höhe gehalten. Der Anschluß der Wagen geschieht auf folgende Weise. Am Anfang der Förderstrecke hebt eine Rolle das Seil so hoch, daß der Wagen mit aufgestecktem Mitnehmer untergeschoben werden kann. Beim Vorschieben nimmt der lotrecht zur Bahnachse gestellte Mitnehmer das sich durch sein Eigengewicht senkende Seil selbsttätig auf, oder es wird von Hand eingelegt. Das an der Berührungsstelle reibende Seil dreht den Mitnehmer um *a* und die Reibung der schwach S-förmigen Seilbiegung nimmt den Wagen mit. Zur Schonung von Seil und Mitnehmer sollten im Augenblick des Anschlusses Seil- und Wagengeschwindigkeit annähernd gleich sein. Am Ende der Förderstrecke erfolgt die selbsttätige Lösung der Verbindung dadurch, daß eine Tragrolle das innerhalb der Strecke frei in Mitnehmern liegende Seil hochhebt und daß der Wagen gleichzeitig auf eine schiefe Ebene kommt, wo er durch die Beschleunigung eine größere Geschwindigkeit erhält als das Seil, so daß der sich zurückdrehende Mitnehmer dasselbe frei gibt. Der dem Seile durch diese Mitnehmer zugefügte Schaden ist sehr gering, denn ein Gleiten findet nur für Augenblicke statt, während sich eine wesentliche Verbiegung nur bei ganz dünnen Seilen bemerken läßt, da sich der beladene Wagen auf söhliger Strecke bei einer Reibungsziffer von 0,015 mit einem Kraftaufwand von 12 bis 15 kg fortbewegen läßt. Durch beständigen Wechsel der Anschlußstellen verteilen sich dieselben gleichmäßig auf das Seil.

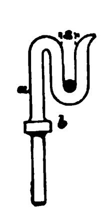


Abb. 14.
Engl. Mitnehmer.

Als wesentlicher Nachteil muß bezeichnet werden, daß sich das Auslösen des Seiles nicht vollkommen sicher vollzieht, sei es, daß es sich in dem ausgenutzten Mitnehmer nach oben festsetzt; daß sich der Mitnehmer bei gut geschmierten und eingelaufenen Wagen nach der entgegengesetzten Seite umlegt, so daß das Seil

wieder festklemmt; der schwer beladene Wagen zu spät die nötige Beschleunigung erhält; oder daß der Mitnehmer durch Verbiegung oder Schmutz am leichten Drehen verhindert ist. Das nicht richtig eingetretene Auslösen kann sich im letzten Augenblick mit einem Ruck vollziehen, oder der Mitnehmer kann ausgezogen und unter Gefährdung der Arbeiter in die Strecke geschleudert werden. Unbeladene Wagen können vom Seil hochgehoben und zum Entgleisen gebracht werden. Ausgeschliffene Mitnehmer genannter Bauart werden durch Einlegen eines Ringes wieder hergestellt.

Die in den Abb. 15, 16 und 17 dargestellten Mitnehmer sind deutschen Ursprungs, auf englischem Grundgedanken beruhend. Der Kollmann'sche Mitnehmer (Abb. 15) hat zweiteiligen Schaft und drehbaren Oberteil. Der Mitnehmer Abb. 16 ist der Firma Grimberg & Wolff in Bochum gesetzlich geschützt und hat an Stelle des U-förmig gebogenen oberen Teiles einen S-förmigen Schaft. Die Anordnung Abb. 17 ist der Firma C. W. Hasenclever Söhne in Düsseldorf geschützt und unter dem Namen Büchsenmitnehmer, Modell »B«, bekannt. Dieser Mitnehmer sowie das Modell »K«, Büchsenmitnehmer auf Körnerspitze, bestehen aus zwei drehbaren Stücken, dem eigentlichen, drehbaren Gabelstück und dem Einsteckbolzen. Bei ersterer Ausführung dreht sich das Gabelstück in der Büchse des Einsteckbolzens, während bei der zweiten Ausführung das Gabelstück als Büchse ausgebildet, auf dem mit gehärteter Körnerspitze versehenen Einsteckbolzen drehbar angeordnet ist. Beide Anordnungen ergeben eine sehr leichte Drehbarkeit des Gabelstückes in der Büchse. Bei dem Modell »K« ist ein Eindringen von Schmutz in die Hülse ausgeschlossen. Die Befestigung des Gabelstückes mit dem Bolzen erfolgt durch einen Stift, der gleichzeitig zur Begrenzung des Drehwinkels dient, indem die Rille an dem oberen Teil des Bolzenstückes nur teilweise eingedreht ist. Die begrenzte Drehbarkeit bietet den Vorteil, daß, wenn der Mitnehmer einmal richtig in der Fahrrichtung steht, ein Herumschlagen des Gabelstückes um den Bolzen nicht möglich ist, wodurch Betriebsstörungen infolge Anstoßens an Seiltragrollen, Kurvenrollen u. dgl. ausgeschlossen sind.

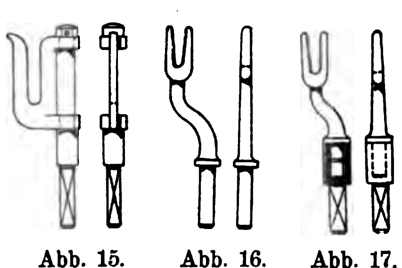


Abb. 15. Abb. 16. Abb. 17.
Mitnehmer, Seilgreifer.

Der untere Zapfen des Bolzens wird dem Loch bzw. dem Vierkant der Querstange angepaßt. — Die einzelnen Stücke sind aus bestem Siemens-Martin-Stahl im Gesenk geschmiedet. Die Gabeln werden auf Seilstärke aufgedornt und gehärtet.

Die Mitnehmer Abb. 14 und 15 eignen sich nur für Krümmungen, welche im gleichen Sinne verlaufen, während die in Abb. 16 und 17 dargestellten Mitnehmer auch für Strecken mit Krümmung und Gegenkrümmung anwendbar sind. Damit sich die Seilgabel selbsttätig anschlagen kann, muß sie sich stets in richtiger Lage zum Seil befinden, was Georg Heckel in St. Johann-Saarbrücken durch die in Abb. 18 dargestellte Form erreicht hat[16]). Hier liegt der Gabelschaft achsial gegen eine schraubenförmige Fläche und kehrt bei Drehung in eine falsche Lage durch sein Gewicht oder durch eine Feder stets von selbst wieder in die richtige

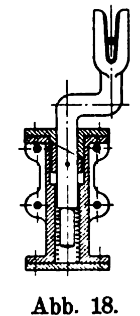


Abb. 18.
Seilgabel.

[16]) Siehe: Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1903.

Lage zurück. Das Gabelmaul wird bisweilen, einem schnellen Verschleiß Rechnung tragend, mit leicht auswechselbaren Einsatzbacken aus Stahl versehen.

Das Anbringen der Mitnehmer an den Kopfwänden bedingt häufig deren Verstärkung, z. B. durch Anwendung einer Stahlgußquerversteifung. Ein Querbügel in der Mitte des Wagens entlastet die Kopfwände und schützt sie vor dem Eindrücken.

Regelung der Wagenabstände. Bei Förderung mit Oberseil ist es für den ungestörten Betrieb in der Strecke sowohl, als auch für die Regelmäßigkeit des Gesamtbetriebes der Grube von Wichtigkeit, daß die Wagen in möglichst gleichmäßigen Abständen an das Seil geschlagen werden. Um dies zu bewirken, wird auf durchschnittlichen Wagenabstand vom Anschlagpunkt aus eine dem Anschläger gut sichtbare Marke (Pfahl, Farbenstrich, brennende Lampe) angebracht. Sobald der zuletzt eingestellte Wagen die Marke erreicht hat, wird ein neuer eingeschoben. Auch Glockensignale kommen bisweilen zur Anwendung, wobei der letzte Wagen, bei der Marke angelangt, durch Winkelhebel und Zug eine neben dem Anschläger befindliche Glocke betätigt. Der meist durch die Wagenräder bewegte Winkelhebel wird durch eine Feder oder ein Gewicht in seine frühere Lage zurückgestellt.

Anschlagpunkte sind diejenigen Stellen, an welchen beladene Wagen an das Seil gekuppelt (angeschlagen) werden. Befinden sich solche in der Förderstrecke, so ist es im allgemeinen zweckmäßig, das Gleis für die leeren Wagen auf diejenige Seite der Strecke zu legen, auf welcher sich die Anschlagpunkte befinden.

Bei der selbsttätigen Anschlagvorrichtung für Seilgabelmitnehmer von Georg Heckel in St. Johann-Saarbrücken (Abb. 19) wird das Zugseil durch ein in einem kleinen Wagen gelagertes Rollenpaar etwas niedergedrückt. Dieser Rollenwagen wird in vorn und hinten ansteigenden Schienen geführt und in Ruhelage durch ein Gegengewicht vorn hochgehalten. Der anzuschlagende Förderwagen läuft auf geneigter Bahn mit der Gabel in das Seil und nimmt den Rollenwagen mit, welcher, nach unten fahrend, das Seil fest in die Gabel drückt. Durch die Gabel des nun am Seil hängenden Wagens weiter geschoben, hebt sich der Rollenwagen aus dem Bereich des Mitnehmers, läßt den Förderwagen frei und wird durch das Gegengewicht in seine Anfangsstellung zurückgebracht.



Abb. 19. Anschlagvorrichtung von Heckel.

Die Firma C. W. Hasenclever Söhne (Inhaber Otto Lankhorst) in Düsseldorf baut ebenfalls einen selbsttätigen Anschlagapparat, bei welchem eine Rolle das Seil hinter dem Mitnehmer eindrückt. Die Rückbewegung des sich um eine Achse drehenden Systems geschieht durch Federkraft. Genannte Firma hat auch einen einfachen Seilabstreifer, welcher das Seil hochführt und beim Vorgang des Wagens durch eine kleine Rolle aushebt.

Damit der Arbeiter beim Anschlagen der Wagen nicht durch Anfassen des laufenden Seiles gefährdet wird, baut Georg Heckel eine Seilhebevorrichtung, welche in Abb. 20 dargestellt ist. Auf einem nach allen Seiten pendelnden Arm wird eine kleine Rolle mittels Zugseil gehoben und gesenkt. Außer Betrieb, wie im Bilde wiedergegeben, ist der Arm seitwärts zurückgezogen. Soll der Wagen abgeschlagen werden, so wird nach Durchgang desselben das untere Armende bis an das Förderseil herabgelassen, dieses durch die Rolle mittels Winde hochgewunden und der Arm in dieser Rollenstellung wieder seitwärts geholt. Wird bei dieser Armstellung, nachdem der Förderwagen durch die Weiche abgeleitet ist, die Rolle wieder herabgelassen, so geht das Seil von selbst in die Streckenlage zurück.



Abb. 20. Seilhebevorrichtung Patent E. Heckel.

Dort wo bei Gabelförderung Seilhochhaltestationen anzubringen sind, z. B. wenn aus Nebenstrecken Wagen unter das Seil geschoben werden müssen, bringt Georg Heckel zwei Arten zur Verwendung. Die in Abb. 21 dargestellte ist eine wie eine Streckenrolle gestaltete Tragrolle (ges. gesch. Syst.) an einer rechtwinklig gebogenen Achse aufgehängt, welche mit dem lotrechten Teil in einem Gußbock drehbar ist, durch ihr Eigengewicht in ihrer Normalstellung gehalten wird und nur bei Durchfahrt des Wagens zeitweilig zur Seite geschoben wird. Die andere

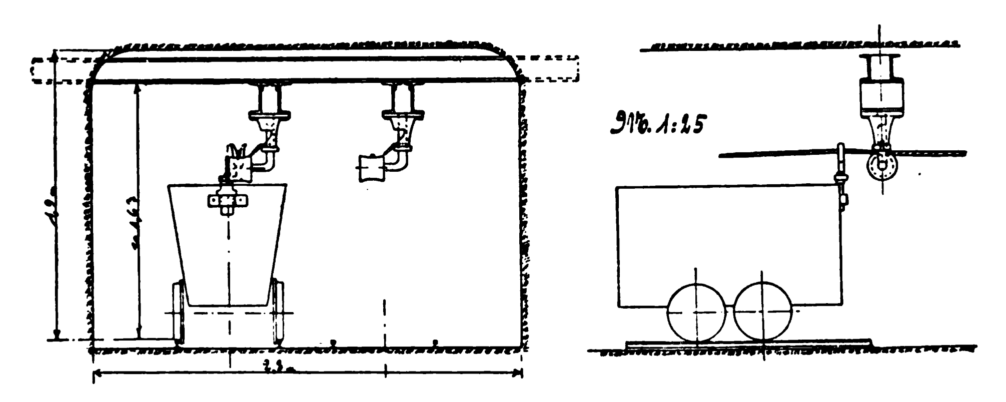


Abb. 21. Seilhochhaltestation von Heckel.

Art, Abb. 22, besteht darin, daß in kurzen Abständen hintereinander zwei mit Tragkränzen versehene Rollen lotrecht fest gelagert sind, zwischen denen das Zugorgan läuft. Beide Rollenränder stehen etwas über die Mittellage des Seiles vor. Der Tragkranz verhindert, daß das Seil abläuft. Der Druck des Seiles ist dann achsial,

so daß der Verschleiß gering ausfällt. Die Gabel fährt, wie die Betriebsergebnisse zeigen, sehr gut durch diese Tragrollen hindurch.

Krümmungen können oft, unter Anwendung großer Krümmungshalbmesser und annähernd gleichen Wagenabständen, ohne Seilführungsrollen durchfahren werden.

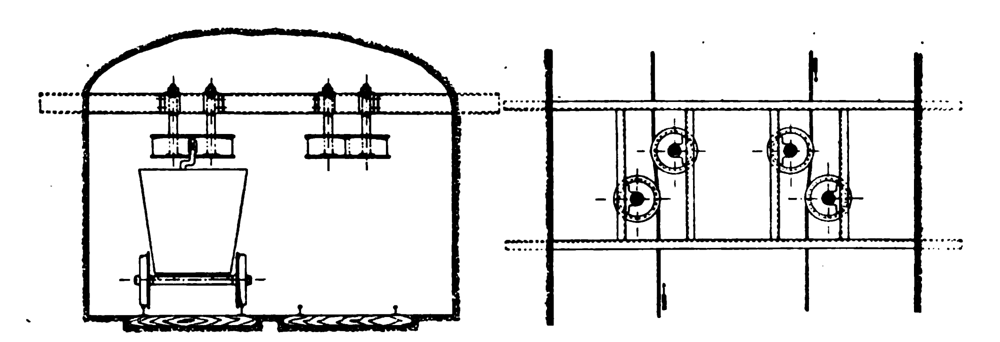


Abb. 22. Seilhochhaltestation von Heckel.

Für den billigen Betrieb ist es von großem Vorteil, wenn in Krümmungen kein Aufsichtspersonal nötig ist, um ausgelöste Wagen wieder an das Seil zu schließen. Zur Führung des Seiles wird über jedem der beiden Gleise eine der Länge und Beschaffenheit der Krümmung entsprechende Anzahl Rollen mit lotrechter Achse (Abb. 23) eingebaut. Die Entfernung der Rollen voneinander ist so zu bemessen, daß der wirkliche Verlauf der Seillinie dem theoretischen möglichst gleich kommt. Die meist aus Gußeisen hergestellte Rolle erhält Schmierung durch eine Bohrung der festen Achse. Sie ist nach unten verjüngt und schließt mit einem das Seil tragenden Wulst, während eine Rippe des Hängebockes das Abspringen nach oben (infolge des Dralles) verhindert.

Eine der Firma Hasenclever Söhne gesetzlich geschützte Kurvenrolle gibt Abb. 24 wieder. Sie hat meist 500 mm Durchmesser, ist aus Stahlguß hergestellt und mit gehärteten Zapfen doppelt gelagert. Die Lagerung ist um einen

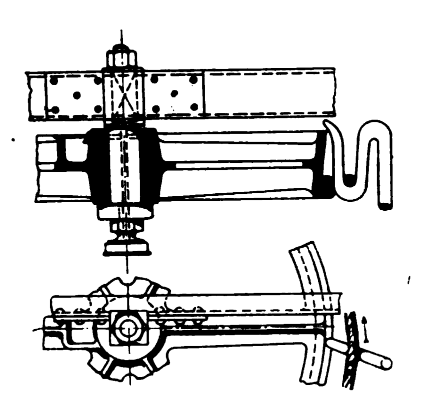




Abb. 23. Seilführung in Krümmungen.



Abb. 24. Kurvenrolle.

geringen Winkel nach der Druckseite geneigt, um zu verhüten, daß das Seil an der Rollenwand klettert, wodurch der Wagen vom Seil abgeschlagen würde. Durch Umdrehen verschlissener Rollen erhalten dieselben doppelte Lebensdauer.

Der Rollendurchmesser schwankt zwischen 500 und 1000 mm. Große Rollen sind für Erhaltung des Seiles und Verminderung des Bewegungswiderstandes günstig, sie vermehren aber die Querträgerbelastung, nutzen sich an der unteren Lauffläche stark ab und sind schwer auszuwechseln. Kleine Rollen sind billig, aber starkem Verschleiß unterworfen.

Das Wiederauflegen wird nur dann gewährleistet, wenn das Seil auf der Rolle etwas tiefer liegt als im Mitnehmer. Auf englischen Gruben wird, um dies zu erreichen, vor der ersten Rolle eine schwingende Schranke nach Abb. 25 eingebaut. Gewöhnlich liegt das Seil auf der kegelförmigen Rolle, kommt aber ein Wagen, so schiebt er die Schranke in der Bewegungsrichtung beiseite, indem der Mitnehmer gleichzeitig das Seil hebt. Ein beim Drehen gehobenes Gewicht bringt die Schranke in ihre frühere Lage zurück. An jeder Rolle erfährt das Seil eine Verbiegung, die wesentlich stärker wird, sobald ein Mitnehmer mit einer Rolle in Berührung tritt. Da diese Verbiegung um den Mitnehmer herum erfolgt, und sich bei jeder Rolle wiederholt, ist ihre Wirkung für das Seil schädlich, obschon die Anschlußstellen zwischen Mitnehmer und Seil immer wechseln. Bei Holzfutter bilden die Ersatzkosten für den sich stark abnutzenden Rollenkranz einen großen Posten in der Streckenunterhaltung.

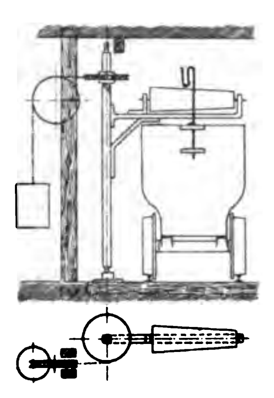


Abb. 25. Seilführung mittels Schranke.

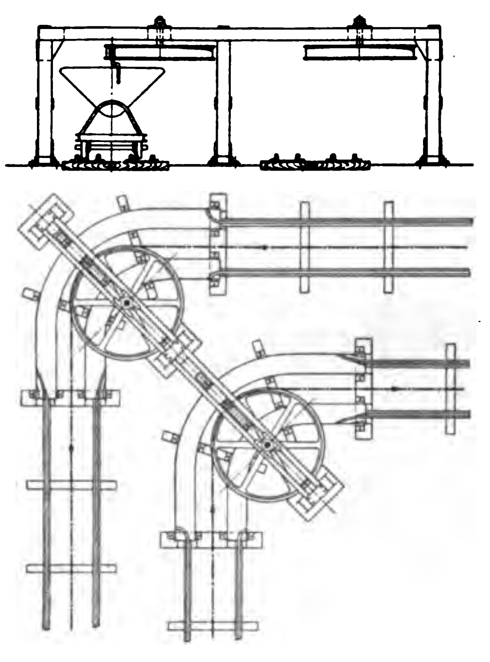


Abb. 26, 27. Krümmungsdurchfahren nach Forster.

Eine besondere Einrichtung zum Durchfahren von Krümmungen ist die dem kgl. Maschinenwerkmeister Forster auf Grube Altenwald bei Saarbrücken patentierte und nach ihm benannte. Beim Übergang von einer in die andere Streckenrichtung befindet sich eine einzige, möglichst große Rolle. Die Förderwagen bleiben auch während des Durchfahrens der Krümmung an das Seil angeschlossen. Die auf Länge der Krümmung unterbrochenen Schienen sind durch Blechplattenbelag ersetzt, auf welchem die Spurkränze rollen. Wie Abb. 26 und 27 zeigen, verwendet Georg Heckel anstatt der Streckenschienen oder des Blechbelages breite ⊔-Schienen. Mit diesen Forster'schen Kurvenrollen lassen sich sehr scharfe Krümmungen leicht überwinden, und sind sowohl glatte als auch Knotenseile zulässig. Das Anbringen von Pendelrollen empfiehlt sich, da bei schwacher Spannung das Seil leicht abfällt.

Pendelrollen halten das Seil stets in gleicher Höhe und gestatten den durchgehenden Wagen am Seil angeschlossen zu bleiben. Die Pendelrolle Abb. 28 und 29 ist der Firma C. W. Hasenclever Söhne in Düsseldorf unter Nr. 53660 und 60591 patentiert. Der Mitnehmer drückt die eine der Rollen zur Seite, geht durch und läßt sie hinter sich wieder unter das Seil fallen. Die Rollen laufen sofort wieder geschlossen, während das Seil noch durch den Mitnehmer hochgehalten wird. Es erscheint daher unmöglich, daß das Seil herausfällt. Die Rollen sind aus Stahlguß und laufen auf gehärteten, behufs Schmierung durchbohrten Bolzen. Die Förderung kann mit jeder Wagenzahl stattfinden. Die Rolle kann auch als Kurvenrolle für mäßigen Druck und flache Krümmungen benutzt werden, wobei natürlich die Rolle der Druckseite fest gelagert ist. Das Rollensystem kann auch um einen wagerechten Bolzen nach oben drehbar ausgeführt werden. Jorissen & Co. bauen die in Abb. 30 dargestellte, ähnlich eingerichtete Pendelrolle. In Strecken, wo regelmäßige Wagenabstände nicht eingehalten werden können, verhindern in bestimmten Entfernungen als Tragrollen eingebaute Pendelrollen das Schleifen des Seiles auf der Streckensohle.

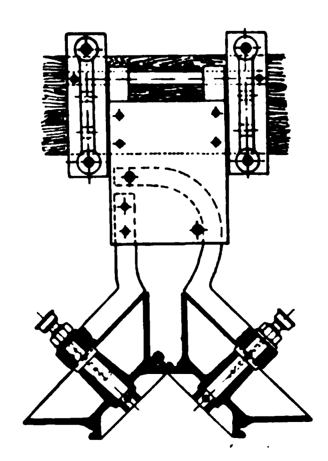


Abb. 28. Pendelrolle von C. W. Hasenclever Söhne.



Abb. 29. Pendelrolle.

Beim Übergang von einer wagerechten in eine ansteigende Strecke ist das Zugseil bestrebt, sich aus den Mitnehmergabeln zu heben, wenn nicht eine besondere Niederdrückvorrichtung (z. B. diejenige der Firma Hasenclever Söhne, Abb. 31) angeordnet wird, welche gleichzeitig den ungehinderten Durchgang des Mitnehmers gestattet. Die dargestellte Niederdrückvorrichtung besteht aus sechs zwischen zwei runden, gußeisernen Scheiben im Kreise gleichmäßig verteilten Hohlkranzrollen, welche einzeln um ihren eigenen Bolzen und gemeinsam um einen Mittelbolzen als Ganzes drehbar

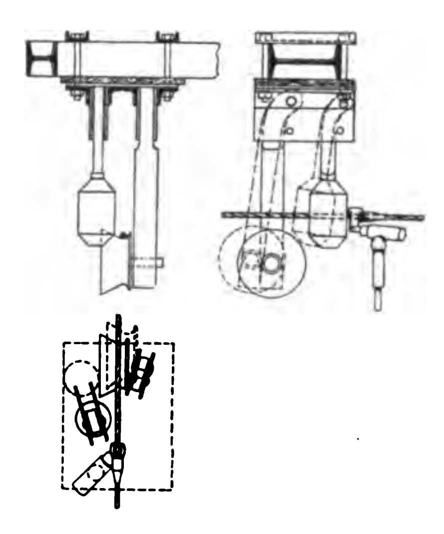


Abb. 30. Pendelrolle von Jorissen & Co.



Abb. 31. Niederdrückvorrichtung von Hasenclever Söhne.

sind. Der ankommende Mitnehmer stößt gegen eine der kleinen Rollen und dreht das ganze System um den Hauptbolzen. Der über das Seil vorstehende Teil des Mitnehmers tritt dabei hinter der ersten Rolle in die Lücke zwischen erster und zweiter Rolle und wird bei weiterem Fortschreiten des Wagens und gleichzeitigem Drehen der Rollenscheiben wieder frei. Das Seil wird dabei fest in den Mitnehmer gedrückt, was für die nachfolgende Steigung nur von Vorteil ist.

Fangvorrichtungen. In der steigenden Strecke, Abb. 32, wird nach Patent Heckel (Saarbrücken) der zwischen den Schienen liegende Anschlaghebel durch ein Gewicht in der senkrechten Lage gehalten und durch die Achse des aufwärts gehenden Wagens vorübergehend in die punktierte Lage gedrückt. Löst sich der Wagen aus irgend einer unbeabsichtigten Ursache und rollt zurück, so schlägt er gegen den Hebel, welcher ihn, unter Milderung des Stoßes durch eine starke Spiralblattfeder, aufhält. In der abfallenden Strecke (Abb. 33) ist der Fanghebel mit einem weiter oberhalb sitzenden zweiten Hebel verbunden, welcher in der Ruhelage oberhalb der Schienen senkrecht steht, während der erste Hebel aufwärts geneigt liegt. Die Achse des abwärtsgehenden Wagens drückt den oberen Hebel nieder, wodurch sich der

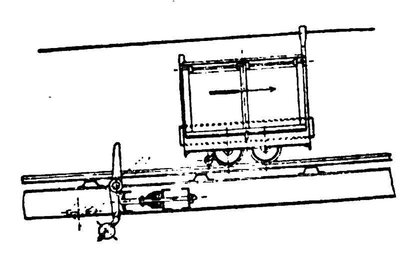
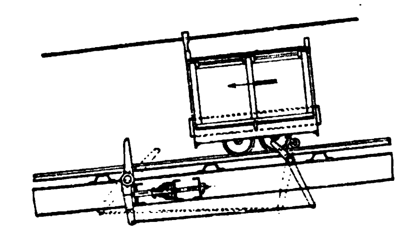



Abb. 32, 33. Fangvorrichtungen.

untere hebt. Bevor jedoch der Wagen mit gewöhnlicher Geschwindigkeit bis zu diesem gelaufen ist, sind beide Hebel durch ein Gegengewicht wieder zurückgelegt, so daß der Wagen frei hinübergeht. Hat sich der Wagen vom Seil gelöst und läuft mit gesteigerter Geschwindigkeit, so trifft er auf den unteren Hebel auf und wird angehalten.

Förderung aus Seitenstrecken. Der maschinelle Betrieb der Förderung aus Seitenstrecken, die sich an Hauptstrecken anschließen, gestattet zwei Verfahren, nämlich: ein einziges Seil kann von der Maschine aus durch beide Strecken geführt werden, oder ein oder mehrere endlose Seile liegen in der Hauptstrecke und besondere in jeder Seitenstrecke. Das erstgenannte Verfahren hat den Nachteil, daß stets alle Strecken in Betrieb, oder bei Störungen in Ruhe sind; ferner ist in den Seitenstrecken der Betrieb meist nicht so regelmäßig wie in der Hauptstrecke, die Wagenabstände werden zu groß und das Seil schleift auf der Streckensohle, wenn nicht besondere Tragrollen eingebaut sind. Überdies muß das Seil überall denselben Durchmesser, entsprechend der größten Spannung, erhalten, was die Anschaffungskosten bedeutend erhöht, aber auch gestattet, überall dieselben Mitnehmer zu verwenden.

b) Förderung ohne selbsttätige Wagenauslösung.

Diese Förderung steht vorwiegend in Oberschlesien und Westfalen in Anwendung. Das Anschlagen der durch Kette mitgenommenen Wagen geschieht in gleicher Weise wie bei dem vorher beschriebenen Verfahren. Zum Lösen wird der Wagen

auf eine schiefe Ebene geführt und die schlaff gewordene Kette zuerst vom Seil und dann vom Wagen gelöst. Der Vorteil dieser Förderart besteht darin, daß das Seil weder verbogen noch gequetscht wird und die Wagen keiner Einrichtung zur Aufnahme der Mitnehmer bedürfen. Nachteilig ist, daß bei schwachen Seilen der Anschluß nicht so sicher erfolgt wie bei starken, und daß bei Drehungen des Seiles die Kette sich aufwickelt, dadurch den Wagen hebt und zum Entgleisen bringt. Ein weiterer Übelstand besteht in der zahlreichen Bedienungsmannschaft, denn wachsende Fördermenge und Geschwindigkeit erfordern mehr Anschläger.

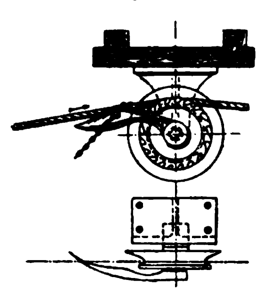


Abb. 34. Seilführung bei Anschlagpunkten.

Anschlagpunkte. Um das Entnehmen der leeren und das Einstellen der beladenen Wagen zu erleichtern, wird das Seil durch eine Rolle von der in Abb. 34 gezeichneten Bauart hochgeführt. Die zu entnehmenden Wagen werden vor der Rolle abgekuppelt, die weiter gehenden bleiben angeschlossen. Ein flügelartiger Abweiser lenkt in letzterem Falle die Kette seitlich, damit sie sich nicht auf die Rolle aufwickelt, während die Zähne des nach dem Abweiser hin liegenden kleineren Rollenrandes die Kuppelungskette sicher vorbeiführen.

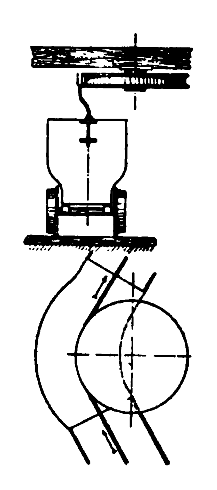


Abb. 35. Seilführung in Krümmungen.

Krümmungen bieten dem Durchfahren auch bei dieser Förderart keinerlei Schwierigkeiten. In schwachen Krümmungen von geringer Länge kann die Ablenkung des Seiles durch Anwendung einer Rolle nach eben beschriebener Bauart bewirkt werden, wenn deren Achse eine der Größe der Ablenkung entsprechende Neigung erhält. Stärkere Krümmungen erfordern Rollen mit senkrechter Achse nach Abb. 35, doch ist ihre Zahl zu beschränken, da die Gefahr der Lockerung oder Lösung der Verbindung zwischen Kuppelkette und Seil mit der Zahl der Berührungspunkte wächst. Anderseits muß durch eine genügende Zahl von Rollen dafür gesorgt werden, daß der Weg des Seiles möglichst gleich demjenigen des Wagens sei.

An Stelle der um das Seil geschlungenen Kuppelketten wird in der Scotlane-Grube (England) das endlose Seil mit Seilschlaufen, hergestellt durch Anbinden von kurzen Litzenstücken, versehen, in welche die Haken der Kuppelungskettchen eingehängt werden. Die Schlingen sind aus etwa 25 mm starken Seilstücken hergestellt und stark genug, um auf Steilrampen zwölf Wagen zu ziehen. Ihre Lebensdauer ist auf durchschnittlich vier Monate festgesetzt.

Außer den Kettenmitnehmern kommen, besonders bei großen Erzförderungen mit Muldenkippern, die Mitnehmerschlösser in Betracht. Es gibt deren eine ganze Anzahl und seien hier nur erwähnt: das drehbare Schloß mit Nuß und Keil (Patent Ernst Heckel, Abb. 36)[17], Zangenschloß, Doppelhebelschloß, Keilschloß (Abb. 37), Keilzahnradschloß usw. Die Anwendung der Schlösser ist dadurch beschränkt, daß mit ihnen starke Krümmungen nicht umfahren werden können, die Wagen bei

[17]) Rasch, Gewerbe-Ausstellg. Düsseldorf, Z. d. V. d. I. 1903.

wechselnden Gefällen und Steigungen stets ab- und angeschlagen werden müssen, ein Teil der Schlösser sich nicht unter Belastung lösen läßt, und alle geneigt sind, sich bei drehendem Förderseil einzuwickeln.

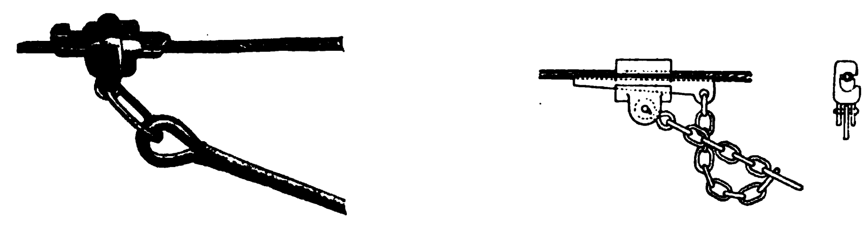


Abb. 36, 37. Mitnehmerschlösser.

§ 3. Seilbahnen für Güterbeförderung in Bergwerken (Fortsetzung). — 2. Förderung mit Knotenseil. Das Knotenseil verdankt seine Entstehung den großen Schwierigkeiten, die bei der Anordnung einer brauchbaren Verbindung der Wagen mit dem glatten Seil auftreten. Das Förderseil erhält in Abständen, welche der durchschnittlichen Wagenentfernung entsprechen, künstliche Verdickungen oder Knoten, welche sich an die Mitnehmer legen und so die Wagen mit sich führen. In vollkommen söhligen, oder nur nach einer Richtung hin geneigten Strecken genügt für jeden Wagen ein Knoten; kommen dagegen Steigungen und Gefälle vor, so muß ein zweiter Knoten, der sogenannte Gegenknoten, den Wagen festhalten. Bei starker Beanspruchung, z. B. bei aufwärts gehender Förderung, wird häufig unmittelbar hinter dem ersten Knoten noch ein Sicherheitsknoten angebracht, so daß der Doppelknoten entsteht. Der in der Schaftachse liegende, meist gabelförmige Mitnehmer verbiegt und klemmt das Seil nicht. Abb. 38 zeigt einen Mitnehmer aus Vierkanteisen, dessen Gabel, zur Verminderung der Seilablenkung von der Rolle beim Krümmungsdurchfahren, aus zwei möglichst dünnen Lappen gemacht werden muß. Bei Anwendung der Pendel- und Sternrollen (Abb. 28 bis 30 und 44) empfiehlt es sich, den Mitnehmerschaft aus Rundeisen herzustellen, oder wenigstens den mit der Rolle in Berührung tretenden Teil rund oder elliptisch zu machen.

Abb. 38. Seilgreifer.

In Abb. 39 ist ein der Firma Jorissen & Co. in Düsseldorf gesetzlich geschützter Mitnehmer mit elastischem Anzuge dargestellt. Die Feder soll die beim Einstellen der Wagen auftretenden Stöße aufheben oder doch mildern und dadurch die Haltbarkeit von Seil und Knoten erhöhen.

Die Endpunkte der Förderstrecke sind gleich eingerichtet wie für Förderung mit glattem Seil. Zahlreiche Versuche lieferten auch beim Knotenseil keine vollständig befriedigenden Ergebnisse; mit in das Seil eingesponnenen Knoten wurden sogar ungünstige Erfahrungen gemacht.

Abb. 39. Elastischer Seilgreifer.

Die jetzt in Gebrauch stehenden Knoten lassen sich in Hanfknoten, Hanfmetallknoten und Metallknoten einteilen. Die ausgedehnteste Anwendung findet der in Abb. 40 dargestellte Hanfknoten. Er wird aus abwechselnden Lagen von Hanf, Hanfschnur und Pech, welch' letzteres

jedoch nicht immer angewendet wird, hergestellt. Die Decke bildet ein geglätteter Pechüberzug. Bei söhliger Förderung beträgt die Knotenlänge 80 bis 100 mm.

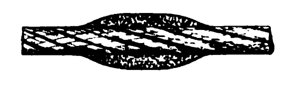


Abb. 40. Hanfknoten.



Abb. 41. Hanfmetallknoten.

Ein der Unternehmung Jorissen & Co. geschützter Hanfmetallknoten (Abb. 41) besteht aus doppelkegelförmiger Umwicklung von geteertem Hanf, über die von derjenigen Seite, auf welcher der Mitnehmer angreift, eine Eisenmuffe geschoben wird, deren grobes Gewinde sich in den Hanf eindrückt. Ein ähnlicher Knoten besteht aus drahtumwickeltem Hanf (1 bis 1,2 mm Draht).

Die Metallknoten einfachster Art bestehen aus zylindrischen schmiedeeisernen Muffen, welche durch einen beidseitig vernieteten Stift festgehalten und vor dem Zusammenspleißen über das Seil geschoben werden. Der in Abb. 42 dargestellte Bleichert'sche Metallknoten kann nach dem Zusammenspleißen aufgesetzt werden und besteht aus einer an den Enden zylindrisch, in der Mitte länglich rund ausgehöhlten, zweiteiligen Stahlhülse, welche durch die Längsstifte *a a* zusammengehalten wird. In die Mittelhöhlung der Hülse sind Metalleinlagen *m m* mit Vertiefungen zur Aufnahme der Seillitzen eingepaßt. *g g* sind Einlagen aus besonders zubereitetem, hartem, aber noch elastischem Gummi. Eine kräftige Schraubenpresse dient zum Aufbringen der beiden Muffenhälften.

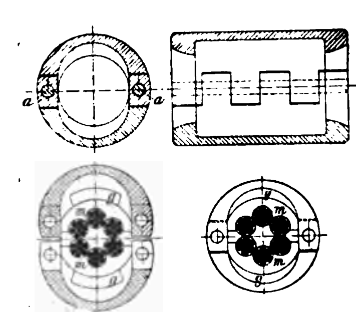


Abb. 42. Metallknoten nach Bleichert.

Eine Neuerung bietet das Kettenseil, Patent Glinz, an welches die Wagen mit gewöhnlichen Kettenmitnehmergabeln angeschlagen werden. Es vereinigt viele Vorzüge des Kettentriebes mit denjenigen der Seilförderung. Das Seil wird in Abständen von etwa 30 m durch Kettenstücke unterbrochen, welche entweder durch Kauschen mit Spleißung verbunden, oder mittels kegeligen Büchsen, in welchen das Kettenglied drehbar ist, und das Seilende vergossen wird (Abb. 43), verbunden sind. Wechselnde Gefälle sind damit leicht zu befahren, das Anschlagen geschieht rasch, das Lösen selbsttätig. Das Seil wird nicht beschädigt und kann stückweise ersetzt werden.

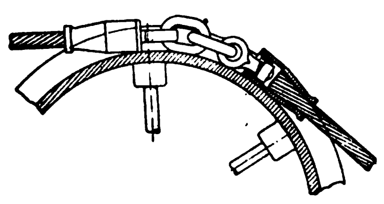


Abb. 43. Kettenseil Patent Glinz.

In den geraden Strecken üben die Knoten um so weniger schädlichen Einfluß aus, je geringer die Einsenkung des Seiles zwischen den Wagen ist. Beim Übergang über Leitrollen, vorzugsweise aber auf der Antriebtrommel, erleiden die Drähte des Seiles vor und hinter jedem Knoten Verbiegungen, die um so stärker ausfallen, je dicker, länger und unelastischer der Knoten und je geringer der Rollen- oder Trommeldurchmesser ist. Da das Seil in den Mitnehmern reibt, müssen die Knoten von Zeit zu Zeit versetzt werden. Aus diesem Grunde haben sich die eingesponnenen Knoten nicht bewährt. Hanf- und Hanfmetallknoten mit ihrer geringen Haltbarkeit bieten genug Grund zum Versetzen; sie sind elastischer als Metallknoten und gehen deshalb ruhiger über die Scheiben weg; überdies sind sie sehr billig und können von jedem Grubenarbeiter leicht hergestellt werden. Hanfknoten haben eine Gebrauchs-

dauer von höchstens drei bis vier Wochen, oft aber nur von wenigen Tagen. Ein großer Nachteil besteht darin, daß sich der Hanf zuweilen zwischen das Seil und die Wandungen der Mitnehmergabel preßt und so das selbsttätige Auslösen des Seiles verhindert. Die Mitnehmer werden dann häufig aus den Ösen gezogen und müssen vor den Rollen durch Abstreifvorrichtungen entfernt werden. Metallknoten haben den Vorteil, daß sie fest auf dem Seile sitzen und unbedingtes Auslösen sichern. Da sie wenig oder gar nicht elastisch sind, verderben sie trotz häufigen Versetzens das Seil. In Bezug auf die Anschaffungskosten ist der Metallknoten der teuerste, in Bezug auf Betriebssicherheit und Unterhalt dagegen der billigste.

Anschlagepunkte haben im allgemeinen dieselben Einrichtungen wie bei der Förderung mit glattem Seil. Bei solchen von untergeordneter Bedeutung wird das Seil von Hand in die Mitnehmer gelegt und aus denselben genommen.

Krümmungen werden mit dem Knotenseil in gleicher Weise durchfahren wie mit dem glatten Seil. In schwachen Krümmungen genügen einfache Rollen mit schräg gestellter Achse, auch Pendel- und Sternrollen, für stärkere Krümmungen werden Rollen nach Abb. 23, oder auch nach Abb. 24 angewendet.

Die Dinnendahl'sche Sternrolle (Abb. 44) besteht aus der eigentlichen Seilführungsrolle und aus dem Sterne. Beide Teile sitzen lose auf der in einem Querträger befestigten Achse. Die Zacken des Sternes verhüten das Herabfallen des Seiles und führen es immer wieder der Seilrolle zu. Die Mitnehmer stoßen gegen die einzelnen Zacken des Sternes, drehen diesen um einen gewissen Winkel und bringen so immer einen Zacken als Träger unter das Seil. Bei starker Seilspannung sind Sternrollen entbehrlich.

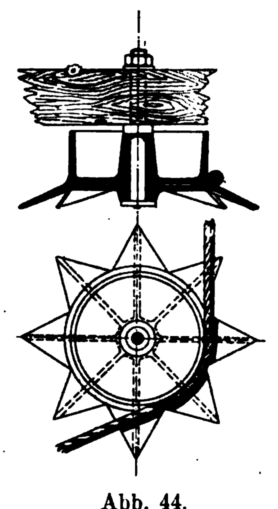


Abb. 44.
Dinnendahls Sternrolle.

B. Förderung mit Unterseil.

Diese Förderart wird neben der Förderung mit Vorder- und Hinterseil zur Zeit in England und Schottland noch vielfach angewendet. Der wesentliche Unterschied gegenüber der Förderung mit Oberseil besteht darin, daß das Seil auf seiner ganzen Länge durch Rollen, welche in die Streckensohle eingebaut sind, getragen wird. Das Unterseil wird nur für solche Fälle ausgeführt, bei denen es sich um die Beförderung großer Einzellasten auf geraden Strecken handelt, und aus technischen Gründen der Angriffspunkt für den Kuppelungsapparat unter dem Wagen gewählt werden muß.

Wie die Bergwerks- und Industrie-Ausstellung zu Newcastle (1887) auf einem Versuchsfeld zeigte, kann das Gleis dabei in dreierlei Weise angeordnet sein:

1. Auf der ganzen Förderstrecke liegt Doppelgleis, das eine dient für die beladenen, das andere für die leeren Wagen, welche sowohl einzeln, als auch in Zügen fahren können.

2. Die Strecke erhält drei Schienen und nur an der Kreuzungsstelle der Züge und an den Enden Doppelgleis. Rollen leiten das Seil an den Ausweichstellen in die Gleismitte. Die Züge müssen auf genau gleiche Entfernung vom Ausweichplatze am Seil befestigt werden, damit sie sich nur im Doppelgleis begegnen. Die einzige verwendete Ausführung dieser Art findet sich auf der Harton-Grube bei Newcastle.

3. Es ist nur ein Gleis vorhanden:

a) Das Seil läuft immer in demselben Sinne um, und es müssen in den Ausweichstellen Zungen umgelegt werden, damit die Räder über das Seil laufen können.

b) Das Seil läuft abwechselnd in entgegengesetzten Richtungen. Das eine Seiltrum wird zwischen den Schienen geführt, das andere seitlich. Die Ausweichstellen sind auf genau gleiche Entfernungen vom Anfangspunkte angelegt. An der Ausweiche angekommen, werden die Seilenden ausgewechselt, worauf durch Ändern der Bewegungsrichtung die Züge ihren Weg fortsetzen. Die Seile gehen dort, wo sich die Züge kreuzen, unter den Schienen durch. Diese, schon von Professor J. von Hauer in ähnlicher Weise in Vorschlag gebrachte Förderung gleicht derjenigen mit Seil und Hinterseil, erspart aber ein Drittel an Seillänge. Die Anordnungen 2. und 3. kommen weniger in Betracht als 1.

Wie alle Arten der Förderung mit Seil ohne Ende ist diejenige mit Unterseil sowohl für die Förderung mit Einzelwagen als auch für die Förderung mit Wagenzügen geeignet. Nur wenige Gruben des europäischen Festlandes haben Förderung mit Unterseil, wogegen England, Schottland und Amerika zahlreiche Ausführungen dieser Art aufweisen.

Trag- und Krümmungsrollen, mit höchstens 10 m Entfernung in der Streckensohle auf Querschwellen gelagert, unterstützen das Seil und bestehen aus Holz, Grauguß oder Stahlguß. Abb. 45 zeigt eine Krümmungsrolle von Jorissen & Co. Die eigentliche Stahlgußrolle *a* ist nach unten verjüngt und trägt oben einen Wulst, um das Hochlaufen des Seiles zu verhüten. Der Rollendrehzapfen ist in das auf der Querschwelle *c* befestigte Graugußstühlchen *b* gesteckt. Die auf der Druckseite des Seiles befindliche Rippe *d* dient dem abgerutschten Seil als Führung auf die Rolle. Die Krümmungshalbmesser werden wenn möglich nicht unter 12,5 m gewählt, gehen aber ausnahmsweise bis auf 6 m herunter. Die einzubauende Rollenzahl hängt nicht vom Krümmungshalbmesser, sondern vom Ablenkungswinkel ab. Ein Winkel von 90° erfordert 12 bis 15 Rollen, welche ein ruhigeres Durchfahren der Krümmung bei geringerem Seilverschleiß sichern, als dies bei weniger Rollen der Fall wäre. Kleine Spurweiten und geringe Höhe der Achsen über Schienenoberkante bedingen geringe Durchmesser, somit größere Umfangsgeschwindigkeiten der Trag- und Krümmungsrollen, was sorgfältige Schmierung notwendig macht. Da die Lager, ihrer geringen Höhe zufolge, leicht verschmutzen, worauf sich die Zapfen nicht mehr drehen, müssen sie oft sorgfältig gereinigt werden.

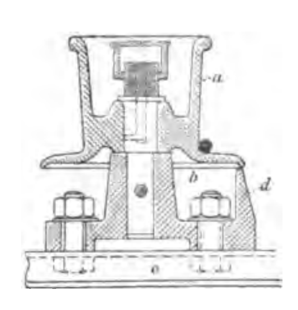


Abb. 45. Krümmungsrolle von Jorissen & Co.

Die der Unternehmung Hasenclever Söhne geschützte Seiltragrolle mit geschlossenem Rahmen ist den sonst bekannten Rollen mit Einzellagern vorzuziehen, da sich hierbei die Lager nicht gegeneinander versetzen können, wodurch stets ein sicheres Arbeiten der Rolle gewährleistet ist. Die Welle läuft mit ihren Enden in als Fettkammern ausgebildeten Weißmetallagern. Eingelegte Filzringe verhindern ein Entweichen des Fettes nach außen. Die Rolle ist so breit gehalten, daß ein Ablaufen des Seiles nicht zu befürchten ist.

Kuppelungsvorrichtungen (Seilschlösser). Von den zahlreichen Kuppelungsvorrichtungen für den Anschluß von Wagen oder Wagenzügen an das Seil lassen

sich die meisten auch für die Förderung mit Oberseil anwenden. Wird mit ganzen Zügen gefördert, so erhalten dieselben vorn einen an das Seil gekuppelten Zugwagen mit Führer. Sind die Förderstrecken nicht wagrecht, so empfiehlt es sich, den Zug auch hinten mit dem Seil zu kuppeln, entweder durch Anschließen des letzten Wagens oder Einstellen eines zweiten Führerwagens. Abb. 46 zeigt einen Seilgreiferwagen von Georg Heckel.

Züge von 10 bis 20 Wagen fahren mit einer Geschwindigkeit von 1 m/sek. Diese Art der Förderung wird dadurch verteuert, daß jeder Zug einen tüchtigen Führer erfordert, was durch Anwendung von Kuppelungsvorrichtungen vermieden werden kann.

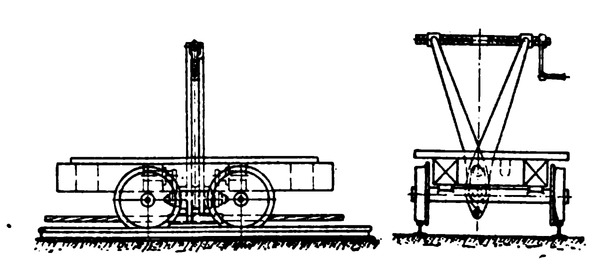


Abb. 46. Seilgreiferwagen von Georg Heckel.

Die einfachste Vorrichtung dieser Art, und zwar zum Kuppeln ganzer Züge, besteht aus einer Zange mit Seilrille und einem Ring. Sie eignet sich nicht zum Durchfahren scharfer Krümmungen ohne Seilauslösen, doch kann der Führer sie öffnen, worauf der Zug selbsttätig die Krümmung durchläuft und hinter derselben wieder an das Seil angeschlossen wird. Eine ähnliche Kuppelung besteht aus Zange mit Seilnute, betätigt durch Schraube mit Rechts- und Linksgewinde.

Die folgenden drei Klemmen sind englischer Herkunft. Abb. 47, eine von Rice erfundene Klemme der Eisensteingrube Hodbarrow in Cumberland, wird von Hand geöffnet und geschlossen. Fishers Klemme (Abb. 48) von der Castle Eden-Grube in Durham für 4500 m Förderlänge angewendet, besteht aus Zange mit Ring. Die in Abb. 49 wiedergegebene Klemme von Smallman ermöglicht in Steigungen

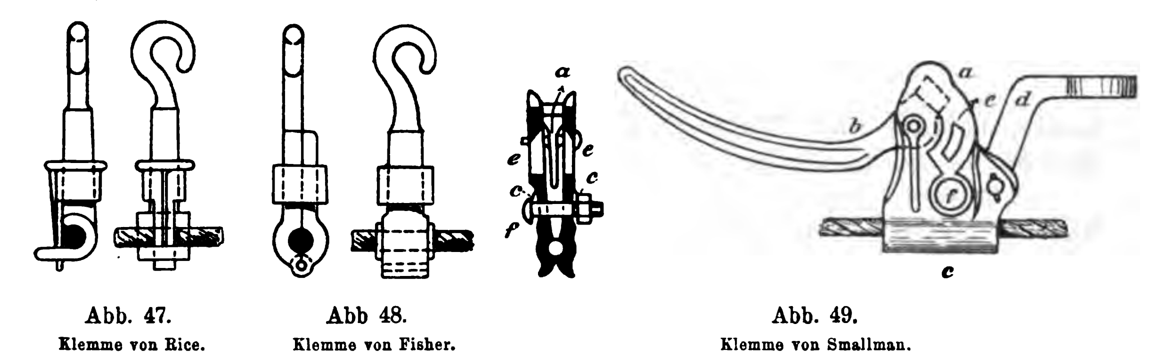


Abb. 47. Klemme von Rice. Abb 48. Klemme von Fisher. Abb. 49. Klemme von Smallman.

von 1 : 60 zu fahren und wird auf den Gruben der Whitburn-Gesellschaft bei Marsden in Durham benutzt. Sie besteht aus zwei Backen *c*, die um *f* beweglich sind. Wird der mit zwei starken Nasen *a* versehene Hebel *b* nach abwärts gedrückt, so gehen die Backen oben auseinander und klemmen unten das Seil fest. Zum Lösen ist nur erforderlich, *b* so weit zu heben, daß die Nasen *a* in die Schlitze *e* kommen, wodurch sich die Backen infolge der Seilspannung unten voneinander entfernen. Verschiedene andere Vorrichtungen sind ähnlich gebaut, darunter einige, bei welchen der Hebel *b* mit Nasen *a* durch einen Hebel mit Keil ersetzt ist.

Abb. 50 und 51 zeigen ebenfalls englische Formen. Die Bent Colliery bei Hamilton hat unter anderen nebenstehende, kräftig wirkende Vorrichtung (Abb. 51), welche gestattet, Krümmungen ohne Seilauslösen zu durchfahren und Zwischenanschlagpunkte einzuschalten. Sie stellt sich schief zum Seil, bewirkt, allerdings nicht zu dessen Vorteil, zwei Knickungen und verhindert dadurch ein Durchrutschen. Das selbsttätige Lösen erfolgt durch Auflaufen des Schließbundes auf eine geeignete Gabel (Abb. 52).

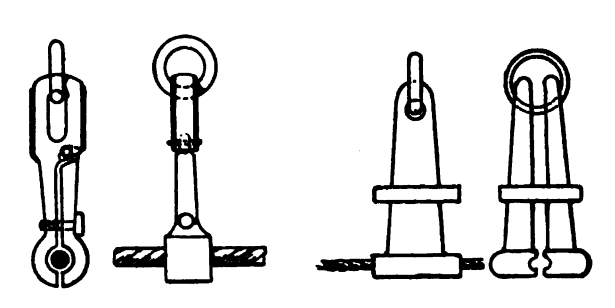


Abb. 50, 51. Kuppelungsvorrichtungen.

Eine andere Art der selbsttätigen Kuppelung für einzelne Wagen erfolgt nach der in Abb. 53 dargestellten Anordnung (auf Grube Skelton Park in Cleveland in Gebrauch), wobei das Seil durch eine Seitenverschiebung der Drehachse, bewirkt durch eine kleine Rolle, ein- und ausgehoben wird. Zum Einkuppeln hebt der mit Führungsrad versehene Doppelhebel das Seil. Die Kuppelungsanordnung der Unternehmung Neitsch in Halle a. S. besteht aus fest mit dem Wagen verbundenen Klemm-

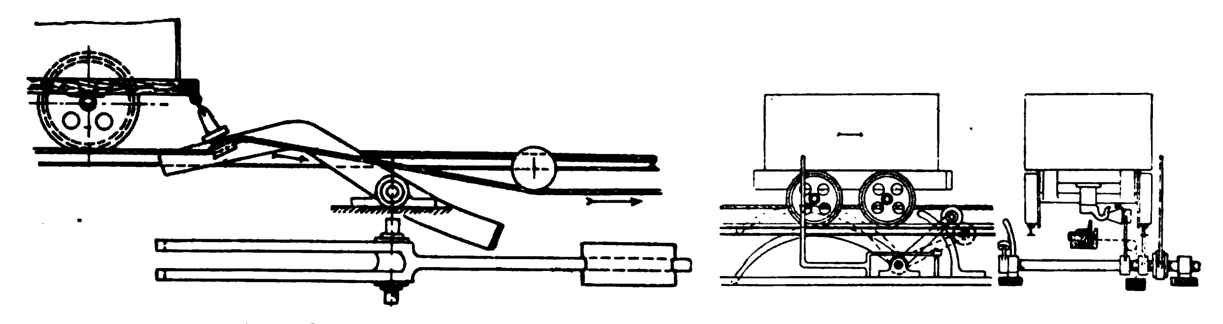


Abb. 52. Lösung der Kuppelung.

Abb. 53. Selbsttätige Kuppelung.

backen, die durch ein Speichenrad von Hand gegen das Seil gepreßt und mit Hilfe einer Sprossenleiter selbsttätig geöffnet werden.

Für kurze, gerade Steilrampen verwendet Th. Obach kleine Wagen, deren Räder in ⊔-Eisen geführt, zwischen den Schienen der Hunde laufen und letztere mitnehmen.

Das Seil muß so geführt werden, daß es erst an der Stelle, wo die Wagen angeschlagen werden, über die Streckensohle tritt und, wie Abb. 52 zeigt, an der Stelle, wo die Lösung der Wagen erfolgt, wieder unter die Streckensohle geführt wird.

Abb. 54 zeigt die Unterführung des Seiles an denjenigen Stellen, wo dasselbe das Gleis schneidet. Der das Seil k fassende Klemmapparat schiebt die sich um x drehende Zunge l beiseite. Das Zurückdrehen der letzteren wird durch die Feder f bewirkt.

Die Förderung aus Nebenstrecken wird meist in der Weise betrieben, daß das Seil der Hauptstrecke gleichzeitig als Kraftübertragungsmittel dient und durch besondere Antriebsscheiben mit Kuppelungen die Seile der Nebenstrecken bewegt, welche dann nur zeitweise eingeschaltet sind.

Antrieb. Behufs Vermeidung unnötiger Seilbiegungen werden Betriebsmaschine und Antrieb zweckmäßig in die Verlängerung der Förderbahn gelegt. Die beladenen

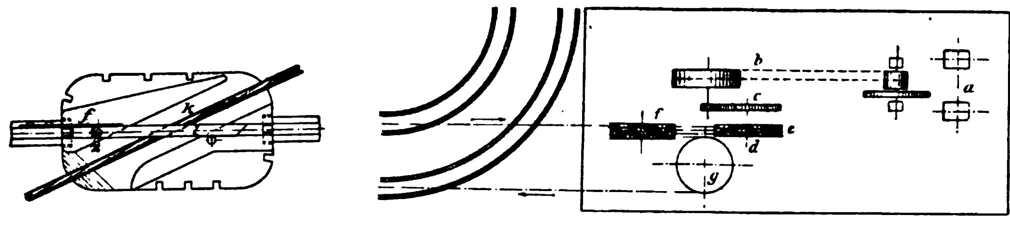


Abb. 54. Seilunterführung. Abb. 55. Antriebstelle.

Wagen gehen kurz vor dem Auslösen eine kleine schiefe Ebene hinauf und laufen dann selbsttätig dem Füllorte zu. Von der Dampfmaschine *a* (Abb. 55) wird durch Riemen *b* und Zahnradgetriebe *c* (bei großen Anlagen nur durch Zahnräder) die Antriebswelle *d* bewegt. Letztere trägt die mehrrillige Antriebscheibe *e*, dieser gegenüber liegt die Vorgelegescheibe *f*. *g* ist die oft als Spannscheibe eingerichtete Umführungsrolle. Für die Betriebsmaschinen kommt Dampf, Preßluft oder Elektrizität zur Anwendung.

Verschiedene Unternehmungen verwenden zwei einander gegenübersitzende, nur einrillige, verhältnismäßig große Scheiben ($D = 3{,}5$ bis 4 m) mit etwa $^5/_8$ Seilumspannung und ordnen die Spannvorrichtung im ablaufenden Seiltrum unmittelbar hinter dem Antrieb an. Abb. 56 stellt die Antriebanordnung nach G. Heckel dar, wobei *r* die vom Motor angetriebene Riemenscheibe, *s* die Spannscheibe bedeutet. Das Spanngewicht darf nicht am Ende der Strecke angeordnet werden, weil dasselbe sonst die ganze Seillast zwischen Endpunkt und Antrieb mit zu überwinden hätte. Die Spannvorrichtung dient dazu, dem Seil die für den Betrieb notwendige Spannung zu erteilen

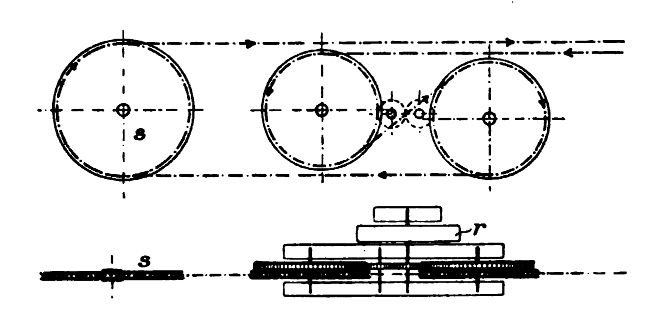


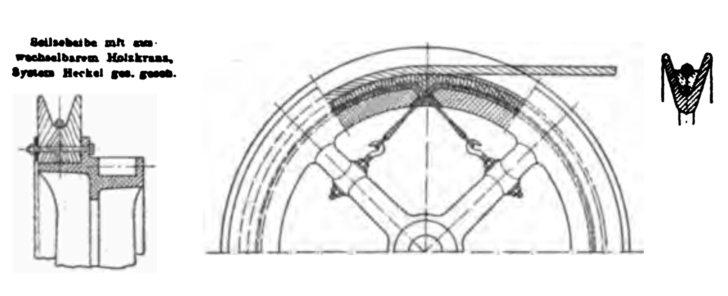
Abb. 56. Antriebanordnung nach G. Heckel.

und den im Laufe des Betriebes infolge Dehnung sich ergebenden Überschuß an Seil aufzunehmen. Sie ist entweder selbsttätig, oder von Hand stellbar; im ersteren Fall erfordert sie viel Raum, im letzteren wird das Seil oft zu stark gespannt, was großen Verschleiß zur Folge hat. Eine Verbindung beider Vorrichtungen ist sehr zweckmäßig.

Bei den ersten Anwendungen des endlosen Seiles als Zugmittel wurde meist das Fowler'sche Lippenklemmrad zum Seilantriebe benutzt, dasselbe bewährte sich aber infolge großen Seilverschleißes und teurer Anschaffung nicht. Jetzt werden gewöhnlich Holzfutter oder Hanf- und Ledereinlagen verwendet. Für solche Seilförderungen, bei denen keine große Zugkraft erforderlich ist, wie für die Förderung aus kurzen Seitenstrecken, kommen zuweilen einfache, gußeiserne Scheiben zur Verwendung, in deren keilförmig ausgedrehtem Kranz das Seil eine schwache Klemmung erleidet. Ab. 57 zeigt eine Seilscheibe mit Holzkranz, Bauart Heckel, aus einzelnen

leicht einsetzbaren Holzklötzen bestehend, welche mit dem gußeißernen Kranz durch einen schmiedeeisernen Ring und je einer Schraube für jeden Klotz verbunden sind. Die Heckel'schen Wendescheiben mit Lederfütterung (Abb. 58 und 59), auch als Antriebscheiben für kleinere Seiltriebe verwendet, scheinen sich gut zu bewähren.

Die ausgestanzten Lederscheiben sind hierbei auf ein dünnes Drahtseil gezogen, dessen beide Enden durch schräg gebohrte Löcher im Kranzboden nach Schraubhaken in den benachbarten Armen geführt sind, wodurch die Lederfütterung in die Scheibenrille eingepreßt wird. Diese Ausführung hat gegenüber der bekannten, mit schwalbenschwanzförmig eingesetzten Lederprofilen Vorzüge, unter anderen die, daß die Lederstücke nicht fortgeschleudert werden können und daß ihr Zusammenschrumpfen, sowie ihre Zusammenpressung durch das arbeitende Treibseil im Sinne einer gesteigerten Einklemmung in die eiserne Scheibenrille stattfindet. Auch ist die Gefahr des Verschleißens durch Anlaufen an den eisernen Kranz nicht so groß wie bei der scharfen Kante des Schwalbenschwanzes.



Seilscheibe mit auswechselbarem Holzkranz, System Heckel ges. gesch.

Abb. 57.

Abb. 58, 59. Seilscheibe mit Lederfutter nach Heckel.

Die Leitscheiben werden gewöhnlich ganz aus Gußeisen hergestellt. Da sich die Rillen der in Abb. 55 dargestellten Antriebscheibe infolge der ungleichen Seilspannungen verschieden abnutzen, ist die Anordnung loser Leitscheiben nötig. Ein Kreuzen des Seiles zwischen Antrieb- und Leitscheiben, an Stelle der offenen Umschlingung, erhöht den Verschleiß, weil das Seil im Zustande der stärksten Spannung rasch aufeinanderfolgende Biegungen in entgegengesetzter Richtung erleidet.

End- oder Rückleitungsscheiben werden entweder ganz aus Gußeisen verfertigt, oder mit einem Holz- oder Lederkranz versehen.

Sie sind gewöhnlich in einer Eisenkonstruktion gelagert, welche zugleich als Nachspannvorrichtung ausgebildet ist, um die Längung des Seiles periodisch ausgleichen zu können. Die Spannscheiben werden häufig mit selbsttätigen Seilschmierapparaten verbunden, welche in regelmäßigen, kurzen Zeitabschnitten Tropfen abgeben. Das Seil erhält dabei nur soviel Öl, daß ein Rosten ausgeschlossen ist und anderseits ein sicheres Greifen der Mitnehmer gewährleistet bleibt.

§ 4. Seilbahnen für Güterbeförderung. Bremsberge. (Flache Förderung). — Wir unterscheiden zwischen Bremsbergen mit offenem Seil und Bremsbergen mit endlosem Seil; letztere werden dann so gebaut wie maschinelle Streckenförderungen auf schiefer Ebene.

Die doppelt wirkende Förderung mit offenem Seil wird sowohl aufwärts, als auch abwärts benutzt, und es fahren bei der geringen Länge meist Züge von vier bis fünf, höchstens zehn Wagen. An den Enden werden an Stelle der Schienen nur mit Plattenbelag versehene Anschlagbühnen hergestellt. Die Förderstrecke ist meist gerade, wodurch ein Seilführungswagen entbehrlich wird. Die Steigung der Schienenbahn ermöglicht in der Regel eine selbsttätige Bewegung, unter gleichzeitiger Über-

windung des Seilleitungswiderstandes, wodurch ein die Zugenden verbindendes Zwischenseil in Wegfall kommt. Für aufwärts gehende Förderung hat die Betriebsmaschine die Bauart einer gewöhnlichen Fördermaschine mit Rädervorgelege, für abwärts gehende tritt eine Bremse zur Vernichtung der überschüssigen Kraft an Stelle der Maschine.

Auf den zahlreichen Seilrampen der Anthrazitgruben Pennsylvaniens wird der Kohlenzug nicht unmittelbar an das Seil gehängt, sondern vor einen, an demselben hängenden Blindwagen (dummy) gesetzt. Dieser hat sein schmales Gleis, welches am Rampenfuß stark nach unten abfällt, innerhalb des Hauptgleises. Unten angelangt, läßt der Blindwagen den Zug frei weiter laufen, um dann wieder hinter die bergwärts zu fördernden Wagen zu treten. Wird mit zwei Blindwagen gearbeitet, so hängen dieselben an einem Seil, welches am oberen Streckenende auf die Antriebrolle geschlungen ist. Ein Unterseil mit Spannwagen gibt dann dem Hauptseil die notwendige Spannung. Mit dem Blindwagen geht keine Zeit für An- und Abkuppeln verloren.

Die flache Förderung mit Seil ohne Ende erfolgt genau in derselben Weise wie die söhlige Förderung; es kommt dabei Oberseil (glattes oder Knotenseil), sowie Unterseil zur Anwendung. Das geschlossene Seil findet deshalb wenig Verwendung, weil es an den Anschlußstellen stark leidet, in Mulden die Mitnehmer verläßt und so Störungen mit schlimmen Folgen einleitet. Glatte Seile leiden weniger als Knotenseile und werden meist vorgezogen. Die bei Seilbahnen zur Personenbeförderung erwähnten Gleisanordnungen finden auch hier Anwendung, nämlich: vier Schienen, bzw. zwei getrennte Gleise; drei Schienen, von denen die mittlere mit Ausnahme der Ausweiche gemeinsam ist; drei Schienen bis unterhalb der Kreuzung, dort selbsttätig sich verstellende Zungen und im untern Teile nur noch zwei Schienen. Diese letztere, in Abb. 60 dargestellte selbsttätige Ausweiche hat zwei an den Enden zugespitzte, eisenbeschlagene, um die Zapfen z drehbare Holzstücke, welche sich über den Schienen bewegen. In der gezeichneten Stellung wird ein leerer Wagen aus Gleis A nach Gleis B gehen, während der beladene durch das Gleis C absteigt und die Hölzer in die punktierte Stellung legt, so den Rückweg in sein Gleis sichernd. Die Pflöcke p dienen den Zungen als Anschläge.

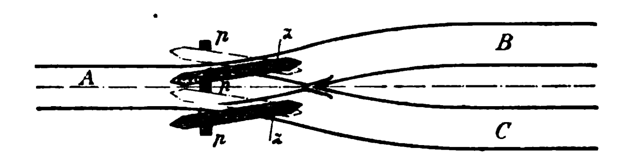


Abb. 60. Selbsttätige Ausweiche.

Bei einfachwirkenden Bremsbergen wird neben, meist aber zwischen dem Gleis für das Fördergefäß (Gestellwagen oder Hund) das Gleis für das Gegengewicht verlegt. Das Gegengewicht g (Abb. 61 und 62) muß dann unter dem Förderwagen f durchlaufen und daher möglichst niedrig sein. Es besteht aus einem Blechkasten (der Stein-, Eisen- oder Wasserfüllung erhält) oder aus einer Anzahl miteinander verschraubter Eisenplatten. Oben auf dem Gegengewicht sind Rollen oder Walzen angebracht, damit das Seil nicht daran schleift. Um mehr Freiheit in den Abmessungen des Gegengewichts zu haben, kann das Förderwagengleis an der Begegnungsstelle über das Gegengewichtsgleis erhöht werden, indem ersteres auf passend zugeschnittenen Längsschwellen verlegt wird.

Einige Minen in der Nähe von Birmingham, Ala., haben bordlose Wagen, auf

denen die Grubenhunde je zu zweien Platz finden. Das Seil geht zu einem Gegengewichtswagen, der gerade schwer genug ist, um den bordlosen Wagen nebst zwei leeren Hunden zu heben. Diese Art der Förderung eignet sich besonders für terrassenförmig angelegte Gruben. Das Seilgewicht der beiden Bahnen muß ausgeglichen werden, sei es durch Anlage des Haupt- oder des Blindwagengleises; letzteres ist bequemer, da das Gleis nur halb so lang ist wie das Hauptgleis. Ein Streckenzeiger im Maschinenhaus ist unbedingt notwendig.

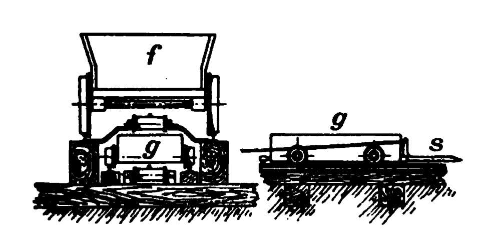
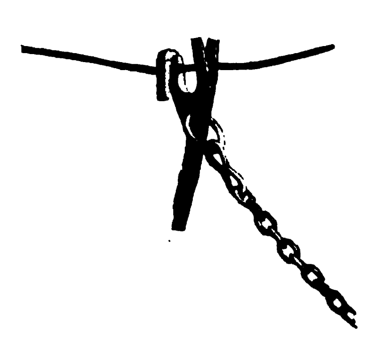


Abb. 61, 62. Gegengewichtswagen.

Die Seiltragrollen sind gewöhnlich aus Holz ($D = 130 \div 200$ mm, $l = 250 \div 450$ mm) und in Holzblöcken gelagert. Der Rollenabstand beträgt 5 bis 10 m, in Mulden oft 13 bis 17 m. Unter Umständen sind gar keine Rollen notwendig, da sich das Seil sofort abhebt, sobald ein Zug auf dasselbe ausgeübt wird. In Gruben muß dann die First mit Rollen versehen werden, damit das Seil nicht daran schleift.

Die Kuppelungs- und Auslösvorrichtungen der Förderung mit Ober- oder Unterseil finden unverändert Anwendung. Bei Knotenseilen verdient der Metallknoten den Vorzug, für Strecken mit stark wechselnder Neigung das Unterseil, da sich dasselbe höchstens aus den Rollen heben kann, um an den Wagenachsen anzuliegen. Leere Wagen können bei starker Seilspannung und auftretenden Stößen allerdings etwas gehoben werden, so daß sie entgleisen. Zuweilen wird mit Rücksicht auf die bessere Verteilung der Belastung, sowie mit Rücksicht auf die größere Betriebssicherheit der englische Mitnehmer gleichzeitig mit dem Hanfknoten oder dem Hanfmetallknoten angewendet. Auch Mitnehmerschlösser werden in den verschiedensten Formen benutzt. Das in Abb. 63 dargestellte Heckel'sche Seilschloß ist noch bei bedeutenden Steigungen anwendbar, da das Seil durch den Zug des Kuppelseiles stark in die keilförmigen Schlitze gepreßt wird. Dadurch, daß an dem langen Hebelarm ein Druck ausgeübt wird, kann die Seilgabel auch unter Belastung gelöst werden.


Abb. 63. Seilgabel nach Heckel.

Bei Oberseil wird dasselbe in dem am Wagen festgemachten Mitnehmer durch einen lösbaren Querstift festgehalten. Flach aufwärts gehende Förderung mit Seil ohne Ende kommt meist nur bei Haldenförderung über Tag vor.

Für den Antrieb einer flach aufwärts gehenden Förderung kann die Antriebmaschine am obern oder am untern Ende stehen; im allgemeinen empfiehlt es sich jedoch, dieselbe am höchsten Punkte der Förderstrecke vorzugsweise unter dem Schienenstrang (bei Raummangel auf einem Gestell darüber) anzuordnen. Die Spannvorrichtung ist immer unten. Die Trommeln sind meist mit Holz bekleidet und mit Bremsscheiben versehen. Statt einer langen Trommel werden oft deren zwei auf dieselbe Welle aufgekeilt. In beiden Fällen geht das eine Seil oben, das andere unten von der Trommel weg.

Maschinenkraft ist notwendig, wenn die Neigung zwischen den Endpunkten

weniger als 2° bis 3° beträgt. Ist die Neigung stärker und die Zahl der abwärts gehenden, beladenen Wagen nicht zu klein, so tritt ein Kraftüberschuß ein, der ausreicht, um den Bewegungswiderstand der aufwärts gehenden leeren Wagen, sowie der ganzen mechanischen Anlage zu überwinden, und es ergibt sich dann die selbsttätige, abwärts gehende Förderung oder Bremsbergförderung. An Stelle der Maschine tritt die Bremse, mit deren Hilfe der Überschuß über die zum Betriebe erforderliche Kraft vernichtet wird.

Die Heckel'sche Abbaubremse (gesetzlich geschützt), Abb. 64, ist in gedrängter Form gebaut und kann ohne weiteres von einem Ort zum anderen gebracht werden. Die Einrichtung besteht aus einem zusammengehörigen Ganzen, einzelne Teile können nicht verloren gehen. Die Bremse ist mit einem Haken ausgestattet, so daß sie an jeder Stelle leicht aufgehängt werden kann. Die auf die Innenfläche der Seilscheibe wirkende Bremse besteht aus einem mit den Klötzen verbundenen Doppelhebel. Der langarmige Hebel ist mit einem Gewicht versehen. Abbaubremsen werden z. B. beim Bau der Jungfraubahn verwendet, um das Material mittels Seilbahn nach dem Tunnelausgang oder nach einem Querschlag zu fördern.

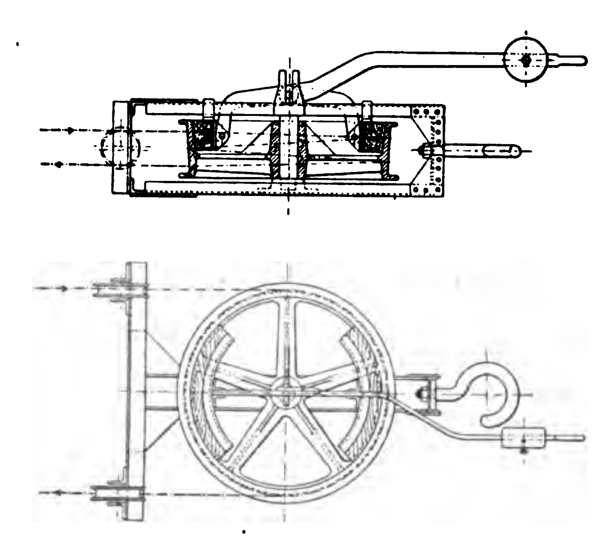


Abb. 64. Abbaubremse nach Heckel.

Das Handbuch der Ingenieurwissenschaften zeigt im Band I, Abt. 2, Taf. IV eine Bremsberganlage mit offenem Seil, wie sie beim Bau der württembergischen Schwarzwaldbahn Anwendung fand. In Abb. 65 ist die Einrichtung eines Bremsberges mit Oberseil, ausgeführt auf der Grube Hohenzollern bei Beuthen in O.-S., dargestellt. Der Bremsberg hat eine flache Länge von 305 m bei durchschnittlicher Neigung von 5°. Das Seil von 16 mm Durchmesser ist in Abständen von 20 m mit

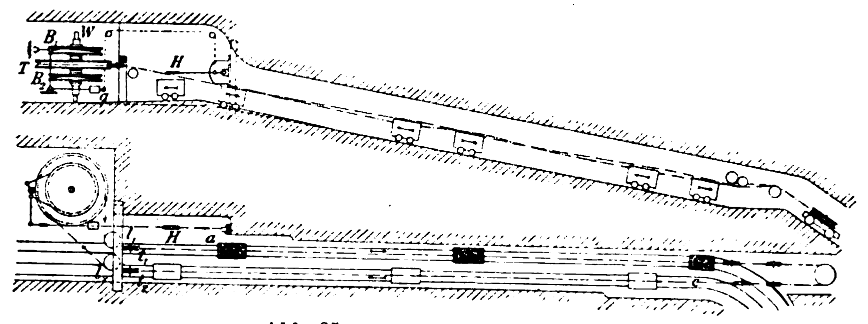


Abb. 65. Bremsberg mit Oberseil.

Hanfmetallknoten (Hanf und Draht) versehen und ruht in federnden, an den Kopfenden der Wagen aufgesteckten Gabeln. Die Bremsvorrichtung ist am oberen Streckenende, seitlich der Schienenbahn, eingebaut. Auf einer stehenden Welle W sitzen die guß-

eiserne Trommel T, um welche das Seil mit annähernd $^3/_4$ Umschlingung gelegt ist, und die ebenfalls gußeisernen Bremsscheiben B_1 und B_2. Das Seil ruht nicht auf dem Grund der keilförmigen Nut, sondern erleidet eine leichte Klemmung. l_1 und l_2 sind Leitrollen, t_1 und t_2 Tragrollen. Die beladenen Wagen werden bei a, die leeren bei c an das Seil geschlagen. Die zu B_1 gehörige Bremsvorrichtung wird mit Hebelübersetzung durch das Gewicht q geschlossen gehalten. Der längs eines gekerbten Führungsbogens gleitende Hebel H ermöglicht mittels Kette ein Heben und Senken von q, somit Öffnen und Schließen der Bremse. Die zu B_2 gehörende Bremsvorrichtung dient zur Aushilfe und ist mittels Schraubenspindel und Handrad verstellbar.

Oft werden in Entfernungen von 30 bis 50 m Fangvorrichtungen eingebaut. Bei der einen Ausführung bestehen dieselben aus Holz- oder Eisenhebeln, welche unter sich und mit den Anschlagpunkten durch doppelten Drahtzug verbunden sind, so daß einer derselben sofort auch die andern in Tätigkeit setzt oder von den Endpunkten aus bedient werden kann. Die Hebel stellen sich quer über die Schienen, dadurch die Wagen aus den Gleisen hebend. Die in Abb. 62 dargestellte Vorrichtung kann dem gleichen Zwecke dienen, indem bei Nachlassen der Seilspannung der Sperrhebel s fällt und den Wagen feststellt.

§ 5. Berechnungen [18]).

A. Allgemeines.

1. Förderwagenreibung. Der Bewegungswiderstand der Förderwagen, zusammengesetzt aus der rollenden Reibung der Räder auf den Schienen und der Achsenreibung, kommt bei einer Seilförderanlage in erster Linie in Betracht. Diese Förderwagenreibungsziffer f ist um so kleiner, je besser das Gleis gelegt; je glatter die Schienen, die Achsen und Lager; je größer die Räder und je besser die Wagen geschmiert sind. Sei die für einen Wagen erforderliche Zugkraft $= Z$, das Gewicht des leeren oder beladenen Wagens $= Q$, so ist

$$f = \frac{Z}{Q};\ Z = Qf.$$

Die Reibungsziffer schwankt innerhalb sehr weiter Grenzen, d. h. zwischen 0,008 bis 0,012 bei gut gebauten und unterhaltenen Wagen, bis 0,02 bei weniger guten Wagen.

Setzen wir das Gewicht eines leeren Wagens $= p$ (kg), das Gewicht einer Wagenladung $= P$ (kg), das Gewicht des auf einen Wagen entfallenden Seilstückes $= g$, so ergibt sich für die Förderung mit endlosem Seil für einen auf söhliger (wagrechter) Bahn befindlichen leeren Wagen die Zugkraft

$$Z = (p + g) \cdot f$$

und für den beladenen Wagen

$$Z = (P + p + g) \cdot f.$$

Ist die Förderbahn unter dem Winkel α gegen die Wagerechte geneigt, so erfordert der leere, aufwärtsgehende Wagen die Zugkraft

$$Z = (p + g) \cdot (\sin \alpha + f \cos \alpha)$$

und der beladene, aufwärtsgehende Wagen

$$Z = (P + p + g) \cdot (\sin \alpha + f \cos \alpha).$$

[18]) Nach E. Braun, Die Seilförderung. Freiberg i. S. 1898.



Ist für abwärtsgehende Wagen die Neigung der Bahn so gering, daß noch eine Zugkraft aufgewendet werden muß, um dieselben fortzubewegen, so ist für einen leeren Wagen

$$Z = (p + g)\,(f \cos\alpha - \sin\alpha)$$

und für einen beladenen Wagen

$$Z = (P + p + g) \cdot (f \cos\alpha - \sin\alpha).$$

Gehen die Wagen selbsttätig abwärts, so ergibt sich für einen leeren Wagen der Kraftüberschuß zu

$$u = (p + g)\,(\sin\alpha - f \cos\alpha)$$

und für den beladenen Wagen zu

$$u = (P + p + g)\,(\sin\alpha - f \cos\alpha).$$

Förderseile werden meist aus Draht von 100 bis 110 kg/qmm Bruchfestigkeit hergestellt. Die Drahtstärke schwankt zwischen 1,0 und 2,0 mm. Dem Einfluß der Biegungsspannungen, die beim Übergang des Seiles über die Führungsrollen auftreten, Rechnung tragend, sollte der Seildrahtdurchmesser höchstens $^1/_{1000}$ des Durchmessers der Führungsrollen betragen. Unter ausschließlicher Berücksichtigung der Zugspannung wird meist eine zehnfache Bruchsicherheit angenommen; hinsichtlich des Seilverschleißes dagegen dürfte es vorteilhaft sein, nur eine achtfache Sicherheit anzunehmen.

Wird die größte Seilspannung in kg $= S$ gesetzt, die Anzahl der Drähte im Seil $= i$, die Drahtstärke in mm $= \delta$ und die Beanspruchung in kg/qmm des Drahtquerschnittes $= k$, so berechnet sich das Seil nach der Gleichung:

$$i \frac{\pi \delta^2}{4} \cdot k = S. \tag{1}$$

Die Drahtstärke ergibt sich aus

$$\delta = \sqrt{\frac{4S}{i \cdot \pi \cdot k}}.$$

Die Anzahl Drähte von gegebener Stärke folgt aus

$$i = \frac{4S}{\pi \delta^2 k}.$$

Erhält das Seil nur eine Hanfseele, so bestimmt sich der Durchmesser D des Seiles in mm annähernd aus

$$D = \delta \sqrt{2{,}3 \cdot i}.$$

Erhalten auch die Litzen Hanfseelen, so ergibt sich der Seildurchmesser D

für 6litzige Seile: $D = \delta \sqrt{2{,}5 \cdot i}$,

„ 7 „ „ : $D = \delta \sqrt{3 \cdot i}$.

Bei achtfacher Bruchsicherheit ist $k = 5$ bis 7,5 kg/qmm für Eisen oder Bessemerstahl, $k = 11$ bis 15 kg/qmm für Patenttiegelgußstahl. Der Seilbiegungswiderstand (Seilsteifigkeit) tritt beim Auf- und Ablaufen des Seiles auf Rollen auf, ist somit von der Größe des umschlungenen Bogens unabhängig. Ursache dieses Widerstandes ist der Biegungswiderstand des Seilmaterials, sowie die gegenseitige Reibung der Drähte. Beim Übergang des Seiles über Führungsrollen wird die Seilspannung und die Maschinenkraft, beim Übergang über die Antriebsvorrichtung aber nur die Maschinenkraft vergrößert.

Der Seilbiegungswiderstand W_s in kg berechnet sich nach Eitelwein aus der Formel

$$W_s = 18{,}6 \frac{D^2}{R} \cdot S,$$

wobei S die Seilspannung in kg, D den Seildurchmesser in m, und R den Rollen- oder Trommelhalbmesser in m bezeichnet.

B. Förderung mit offenem Seil.

Betrachten wir die Förderung mit Seil und Gegenseil auf gerader und wagrechter Bahn, so erhält das zur Fortbewegung der beladenen Wagen dienende Seil einen um so größeren Durchmesser gegenüber dem die leeren Wagen ziehenden Gegenseil, je größer die Zahl der beladenen Wagen ist. Der gesamte Bewegungswiderstand, durch den die Seilspannung verursacht wird, setzt sich zusammen aus dem Bewegungswiderstand des Zuges und dem Bewegungswiderstand der Seilleitung. Sei die Anzahl der im Zuge befindlichen Förderwagen $= n$, das Gewicht der Seilführungswagen $= q$, der Bewegungswiderstand des beladenen Zuges $= Z_b$, derjenige des leeren Zuges $= Z_l$, so folgt:

$$Z_b = [n\,(P + p) + q]\,f \tag{2}$$

und wenn wir für den leeren Zug annehmen, daß der zehnte Teil der Wagen mit Stempeln, Mauerungsmaterial, Schienen u. dgl. beladen sei,

$$Z_l = [n\,(0{,}1\,P + p) + q] \cdot f. \tag{3}$$

Für die Ermittlung des Bewegungswiderstandes der Seilleitung kann ein auf den Zugswiderstand oder auf die Länge der Seilleitung, oder auch auf beide bezogener in v. H. ausgedrückter Erfahrungswert genommen werden. Für genaue Berechnungen genügt dies nicht und ist deshalb eine längere Rechnung notwendig (vgl. Seilförderung von E. Braun, S. 106—111).

Setzen wir den Halbmesser des Trommelachsenzapfens $= r$, den Trommelhalbmesser bis Mitte der äußersten Seillage $= R$, die Zapfenreibungsziffer $= \mu$, und die Gesamtbelastung der Trommelzapfen $= Q$, so ergibt sich der durch die Zapfenreibung entstandene, auf das Seil übertragene Bewegungswiderstand der Gegenseiltrommel zu

$$T_r = Q\mu \frac{r}{R}.$$

Der Bewegungswiderstand der Seilführungsvorrichtung ist durch Erhöhung obigen Wertes zu berücksichtigen.

Bezeichnet G_r das Seilrollengewicht, G_s das Gewicht des auf den Rollen liegenden Seilstückes, ϱ den Halbmesser der Zapfen oder der Achse der Seilrollen, R den Halbmesser der Seilrolle bis Mitte Seil gemessen, μ_1 die Zapfen- oder Achsenreibungsziffer, so ist der Achsenreibungswiderstand der Seilrollen

$$R_r = (G_r + G_s)\,\mu_1 \frac{\varrho}{R}$$

und die größte Spannung des Seiles, für welche dasselbe zu berechnen ist:

$$S_s = Z_b + T_r + R_r. \tag{4}$$

Setzen wir die stärkste Spannung des Gegenseiles $= S_g$, das Gewicht des auf den Rollen liegenden Stückes $= G_g$, so wird

$$R_r = (G_r + G_g)\,\mu_1 \cdot \frac{\varrho}{R}$$

und

$$S_g = Z_l + T_r + R_r. \qquad (5)$$

In starken Krümmungen der Strecke wird der Seilleitungswiderstand, mithin auch die Seilspannung erhöht. Bezeichnet H den wagrechten Druck auf eine Rolle, sei R' der Rollenhalbmesser bis Seilmitte, ϱ' der Achsenzapfenhalbmesser, μ' die Zapfenreibungsziffer, so ist der auf den Rollenumfang bezogene Zapfenreibungswiderstand der in der Krümmung befindlichen Rollen

$$K_r = H\mu' \frac{\varrho'}{R'}$$

und die Gleichungen (4) und (5) gehen dann über in

$$S_s = Z_b + T_r + R_r + W_s + K_r$$
$$S_g = Z_l + T_r + R_r + W_s + K_r.$$

Sind Neigungen von mehr als Zugslänge vorhanden, so muß für den auf der Steigung α^0 aufwärtsfahrenden Zug der Widerstand bestimmt werden.

Es wird dann Gleichung (2) bzw. (3) übergehen in

$$Z_b = [n\,(P + p) + q]\,[\sin\alpha + f\cos\alpha]$$

und

$$Z_l = [n\,(0{,}1\,P + p) + q]\,[\sin\alpha + f\cos\alpha].$$

Die Betriebsmaschine arbeitet meist mit einfachem Zahnradvorgelege, dessen Wirkungsgrad zu 0,9 angenommen werden kann. Die zu überwindende Zugkraft wird dann für die

Seilmaschine $Z = \dfrac{S_s}{0{,}9}$,

und für die Gegenseilmaschine $Z = \dfrac{S_g}{0{,}9}$.

Für eine Fördergeschwindigkeit v in m/sek. wird die nutzbare Leistung der Maschine in PS/sek.

$$N_n = \frac{Z \cdot v}{75}.$$

Die Fördergeschwindigkeit v schwankt zwischen 2 und 4 m/sek.

C. Förderung mit Seil ohne Ende.

Das Seil ist in der Regel beim Auflaufen auf die Trommel am stärksten, beim Ablaufen von derselben am schwächsten gespannt. Eine Ausnahme tritt ein, wenn bei abwärts gehender, flacher Förderung durch eine am tiefsten Punkte stehende Maschine Kraft geleistet werden muß, oder bei Bremsberganlagen.

Beim Ablaufen muß das Seil eine gewisse Spannung besitzen, damit während des Betriebes kein Gleiten zwischen Seil und Trommel eintritt, und damit es sich zwischen den Förderwagen oder den Tragrollen nicht zu stark einsenkt und die Streckensohle berührt.

Sind Krümmungen vorhanden, so muß das Seil stets stärker gespannt werden, damit es nicht von den Leitrollen fällt, besonders wenn eine Krümmung nahe am Anfang der Förderstrecke liegt. Im allgemeinen wird eine Spannung des ablaufenden Seiles von 200 bis 300 kg genügen und wird diese tote Spannung S_t künstlich durch eine Spannvorrichtung erhalten.

Der durch Überwindung der Bewegungswiderstände hervorgebrachte Unterschied zwischen stärkster und schwächster Seilspannung wird natürliche Spannung oder Nutzspannung S_n genannt.

Die täglich zu leistende Fördermenge in Wagen sei M, die reine Betriebszeit nach Abzug der Förderpausen $= t$ min., so ist die in der Minute zu liefernde Wagenzahl

$$m = \frac{M}{t}.$$

Bei v m/sek. Fördergeschwindigkeit ist der Wagenabstand

$$a = \frac{60 \cdot v}{m}.$$

Große Geschwindigkeiten sind für Einzelwagen nicht zu empfehlen und ergibt sich in der Praxis $v = 0{,}5$ bis 1,5 m/sek. Am häufigsten finden sich Wagengeschwindigkeiten von 0,7 bis 0,8 m/sek. bei Wagenabständen von 15 bis 20 m.

Die Seilspannung am Ende der Leerbahn ergibt sich, wenn die Anzahl der leeren Wagen $= n$, die tote Spannung $= S_t$ beträgt, zu

$$S = S_t + n(p + g)f.$$

Die Anzahl der beladenen Wagen muß bei gleichem Wagenabstand ebenfalls n betragen, so daß die Seilspannung am Ende der Vollbahn eine nochmalige Erhöhung von $n(P + p + g)f$ kg erfährt, wodurch die von der Wagenbewegung herrührende Vermehrung der Seilspannung den Wert von

$$n(p + g)f + n(P + p + g)f = n(P + 2p + 2g)f$$

erreicht. Der durch die Achsenreibung der Rollen, sowie durch die Seilsteifigkeit entstehende Spannungszuwachs kann erst nach Ermittlung des Seildurchmessers genau bestimmt werden; wird aber annähernd dadurch berücksichtigt, daß die Seilspannung mit einer Ziffer $\mathfrak{p}$ multipliziert wird, die um die Anzahl der angenommenen v. H. größer ist als 1; z. B. bei Annahme von 5, 10, 15 v. H. für die Ziffer $\mathfrak{p}$ den Wert 1,05, 1,10, 1,15. Für gerade Bahn beträgt somit die stärkste Seilspannung

$$S_s = S_t + \overbrace{\mathfrak{p} n(P + 2p + 2g)f}^{S_n}.$$

S_n = Nutzspannung.

Setzen wir diesen Wert in der Gleichung (1) an die Stelle von S, so ergibt sich

$$i \cdot \pi \cdot \delta^2 k = 4\,[S_t + \mathfrak{p} n(P + 2p)f] + 4\mathfrak{p} n 2gf.$$

Da das Gewicht von 1 m Seil annähernd $\gamma = 0{,}0076 \cdot i \cdot \delta^2$ ist, kann für g gesetzt werden

$$g = a \cdot 0{,}0076 \cdot i \cdot \delta^2$$

und für $n \cdot a = L$ (Förderlänge). Alsdann erhalten wir

$$i \cdot \pi \cdot \delta^2 k - 0{,}0608 \cdot \mathfrak{p} \cdot L \cdot i \cdot \delta^2 \cdot f = 4\,[S_t + \mathfrak{p} \cdot n(P + 2p)f].$$

Wird die Drahtzahl i angenommen, so ist die Drahtstärke

$$\delta = \sqrt{\frac{4[S_t + \mathfrak{p} n(P + 2p)f]}{i(\pi \cdot k - 0{,}0608\, \mathfrak{p} \cdot L \cdot f)}}.$$

Nehmen wir die Drahtstärke δ an, so folgt die Drahtzahl i aus

$$i = \frac{4[S_t + \mathfrak{p} n(P + 2p)f]}{\delta^2(\pi \cdot k - 0{,}0608\, \mathfrak{p} L f)}.$$

Für die leeren Wagen folgt, unter der Annahme, daß auf je zehn Wagen ein beladener kommt,

$$S_s = S_t + S_n; \quad S_n = \mathfrak{p} \cdot n(1{,}1\, P + 2p + 2g)f,$$

$$\delta = \sqrt{\frac{4[S_t + \mathfrak{p} \cdot n(1{,}1 P + 2p)f]}{i(\pi \cdot k - 0{,}0608 \mathfrak{p} \cdot L \cdot f)}}.$$

$$i = \frac{4[S_t + \mathfrak{p} \cdot n(1{,}1\, P + 2p)f]}{\delta^2(\pi \cdot k - 0{,}0608 \cdot \mathfrak{p} \cdot L \cdot f)}.$$

Für gerade Förderstrecken kann $\mathfrak{p} = 1{,}05$ gesetzt werden. Bei Krümmungen ist für jede Rolle ein Zuschlag von 1 bis 1,5 v. H. zu geben.

Für die Antriebstrommel gilt

$$S_t \geqq \frac{S_n}{e^{\varphi\alpha} - 1},$$

$\varphi = 0{,}24$ für Drahtseile auf Eichenholz.

Gewöhnlich aber darf die Reibungsziffer $\varphi = 0{,}3$ gesetzt werden, worauf sich ergibt:

$$\text{für } {}^1/_2 \text{ Umschlingung } S_t = \frac{1}{1{,}565} \cdot S_n = 0{,}6400 S_n,$$

$$\text{„ } {}^2/_2 \text{ „ } S_t = \frac{1}{5{,}58} \cdot S_n = 0{,}1800 S_n,$$

$$\text{„ } {}^3/_2 \text{ „ } S_t = \frac{1}{15{,}9} \cdot S_n = 0{,}0625 S_n,$$

$$\text{„ } {}^4/_2 \text{ „ } S_t = \frac{1}{42{,}29} \cdot S_n = 0{,}0238 S_n.$$

Die erforderliche Anzahl der halben Seilumschlingungen $\varkappa$ berechnet sich aus

$$\varkappa = \frac{\log \frac{S_n + S_t}{S_t}}{\varphi \cdot \pi \cdot \log e}.$$

Der gesamte Bewegungswiderstand W der Antriebsvorrichtung setzt sich zusammen aus der Zapfenreibung der Trommelwelle, der Zapfenreibung der Leitscheibenachse und der Seilsteifigkeit beim Übergange des Seiles über Trommel und Leitscheiben. Setzen wir den Zapfenreibungswiderstand der Trommelwelle $= W_t$, denjenigen der Leitscheibenachse $= W_l$, den Seilbiegungswiderstand $= W_s$, so ist

$$W = W_t + W_l + W_s.$$

Bezeichnet R den Trommelhalbmesser bis Seilmitte, r den Trommelzapfenhalbmesser, ϱ denjenigen der Leitscheibenachse, D den Seildurchmesser und μ die Zapfenreibungsziffer, so ergibt sich

$$W_t = \mu \cdot \frac{r}{R} \cdot Q,$$

wobei $Q = \sqrt{Q_s^2 + Q_g^2}$.

Q_s ist die von der Seilspannung herrührende Belastung und beträgt

für eine einrillige Antriebstrommel $Q_s = 3 S_n$,
" " zweirillige " $Q_s = 4 S_n$,
" " dreirillige " $Q_s = 5 S_n$,
" " vierrillige " $Q_s = 6 S_n$,

Q_g = Gewicht von Welle, Trommel und Zahnrad.

Ferner ist

$$W_l = \mu \frac{\varrho}{R} \cdot M,$$

wobei

für eine Leitscheibe : $M = 2 S_n$,
" zwei Leitscheiben: $M = 3 S_n$,
" drei " : $M = 4 S_n$,
für $1/2$ Trommelumschlingung $S = 2 S_n$,
" $2/2$ " $S = 3{,}5 S_n$,
" $3/2$ " $S = 4 S_n$,
" $4/2$ " $S = 5 S_n$.

Setzen wir diese Werte in die Gleichung

$$W_s = 18{,}6 \frac{D}{R} \cdot S$$

(S. 128) ein, so erhalten wir:

für einrillige Antriebtrommel $W_s = 37 \frac{D^2}{R} \cdot S_n$,
" zweirillige " $W_s = 65 \frac{D^2}{R} \cdot S_n$,
" dreirillige " $W_s = 74 \frac{D^2}{R} \cdot S_n$,
" vierrillige " $W_s = 93 \frac{D^2}{R} \cdot S_n$.

Das Durchfahren von Krümmungen mit großem Halbmesser ist bei Einhaltung möglichst gleichmäßiger Wagenabstände ohne besondere Vorrichtungen möglich.

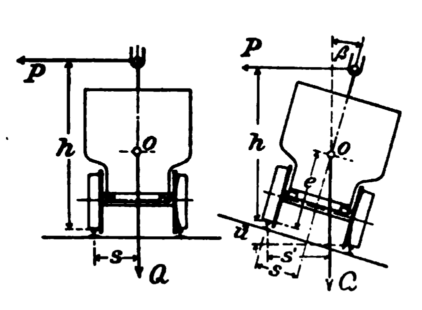


Abb. 66.

Nach Abb. 66 muß für Gleichgewichtszustand

$$Q \cdot s = P \cdot h$$

sein. Damit jedoch Krümmungen sicher durchfahren werden können, muß das Stabilitätsmoment um die Sicherheitsziffer x größer sein als das Kippmoment, also

$$Q \cdot s = x \cdot P \cdot h.$$

Bezeichnen wir den Krümmungshalbmesser bis Gleismitte mit R, den Wagenabstand mit a und

den von zwei Wagen eingeschlossenen Winkel mit α, so ist

$$P = \frac{S \cdot a}{R}$$

und durch Einsetzen dieses Wertes in obige Gleichung

$$Q \cdot s = x \frac{h \cdot Sa}{R}, \text{ oder } x = \frac{Q \cdot s \cdot R}{S \cdot a \cdot h} \text{ und } R = \frac{x \cdot S \cdot a \cdot h}{Q \cdot s}.$$

Durch Überhöhen der innern Schiene wird die Sicherheit gegen Umkippen erhöht. Nehmen wir an, daß der Höhenunterschied der Schienen durch Drehen des Wagens nebst Gleis um die Schwerpunktsachse o des Wagens um einen Winkel β hervorgebracht sei, und daß e die senkrechte Entfernung des Schwerpunktes von der durch die Oberkanten der beiden Schienen gelegten Ebene sei, die Entfernung des Seilmittels von dieser Ebene $= h$ und die Entfernung von Mitte Gleis bis Mitte Schienenkopf $= s$, dann ist

$$Q(s \cos \beta + e \sin \beta) = \frac{xS \cdot a}{R} (h \cos \beta - s \sin \beta),$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{xS \cdot a \cdot h - QsR}{xS \cdot a \cdot s + QeR}.$$

Die Schienenüberhöhung $ü$ bestimmt sich aus

$$ü = 2s \sin \beta.$$

Für das Durchfahren von Einsenkungen kann der Einsenkungsbogen mit genügender Genauigkeit als Parabel angesehen werden. Die Seileinsenkung beträgt

$$f = \frac{a^2 g}{8S},$$

wobei g das Seilgewicht in kg/m bedeutet. Ist die Länge der Einsenkung $= 2a$, so wird

$$f = \frac{(2a)^2 \cdot g}{8S} = \frac{a^2 g}{2S},$$

$$a = \sqrt{\frac{2S \cdot f}{g}}.$$

Eine gewisse Sicherheit gegen Ausheben des Seiles ist dadurch vorzusehen, daß für f ein größerer Wert eingesetzt wird, oder daß die Gabeln länger gemacht werden als für söhlige Förderung.

Die Aufhängpunkte der Tragrollen zum Ausheben des Seiles aus den Mitnehmern (Abb. 67) bestimmen sich nach den Gleichungen

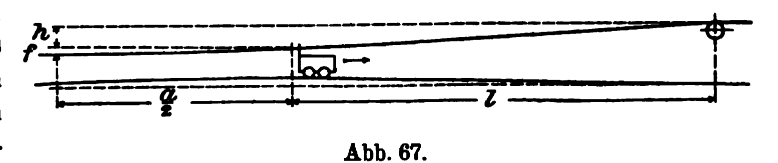


Abb. 67.

$$h = \frac{\left(\frac{a}{2} + l\right)^2 \cdot g}{8S} - f,$$

$$l = \sqrt{\frac{8S(f + h)}{g}} - \frac{a}{2}.$$

Der von der Betriebsmaschine zu überwindende Bewegungswiderstand $\mathfrak{W}$ setzt sich zusammen aus der Nutzspannung S_n des Seiles, dem Bewegungswiderstand W der Antriebvorrichtung und dem Bewegungswiderstand des Vorgeleges. Für Riemen von 5 bis 6 mm Stärke, 5 m/sek. Riemengeschwindigkeit und Riemenscheiben von 20 bis 60 cm Durchmesser ergibt sich ein Verlust von 1 kg auf 1 cm Riemenbreite. Bei Zahnradübersetzung mit geschnittenen Zähnen ergibt sich für einfache Übersetzung ein Verlust von 3 v. H., bei doppelter Übersetzung von 10 v. H.; für unbearbeitete Zähne 10 v. H., bezw. 25 bis 35 v. H.

Bezeichnen wir den Wirkungsgrad des Rädervorgeleges mit w, so ist

für Räder mit bearbeiteten Zähnen $w = 0{,}97$ bezw. 0,90,
" " " unbearbeiteten " $w = 0{,}90$ " 0,75.

Der Bewegungswiderstand, den die Maschine überwinden muß, ist

$$\mathfrak{W} = \frac{S_n + W}{w}$$

und die nutzbare Leistung in PS/sek.

$$N_n = \frac{\mathfrak{W} \cdot v}{75}.$$

Die **Betriebs- und Förderkosten** der Seilförderung setzen sich zusammen aus den Kosten für Aufsicht, Triebkraft, Wartung und Schmierung der Maschine, Seil, Unterhalt und Schmierung der Seilrollen, Wagenkuppelungen, Betrag zur Tilgung des dem Anlagekapital abzuschreibenden Betrages.

Bei Dampfbetrieb belaufen sich die Kosten auf 3,0 Pfg. für 1 Stundenpferdestärke. Die Unterhaltungs- und Schmierungskosten der Maschine betragen für 1000 m Förderlänge jährlich 300 Mk., für größere Förderlängen auf je 1000 m 50 Mk. mehr; die Rollenunterhaltungskosten für 1000 m Länge = 400 Mk., auf je 1000 m Förderlänge mehr 50 Mk. Das Rollenschmiermaterial kann für 1000 m Länge zu 125 Mk. jährlich, für je 1000 m mehr zu 25 Mk. angenommen werden.

Mittlere Seildauer bei

Anwendung von	Anschlußkettchen	5 Jahre
" "	englischen Mitnehmern	4 "
" "	Hanfknoten	$3^1/_3$ "
" "	Metallknoten	$2^1/_2$ "

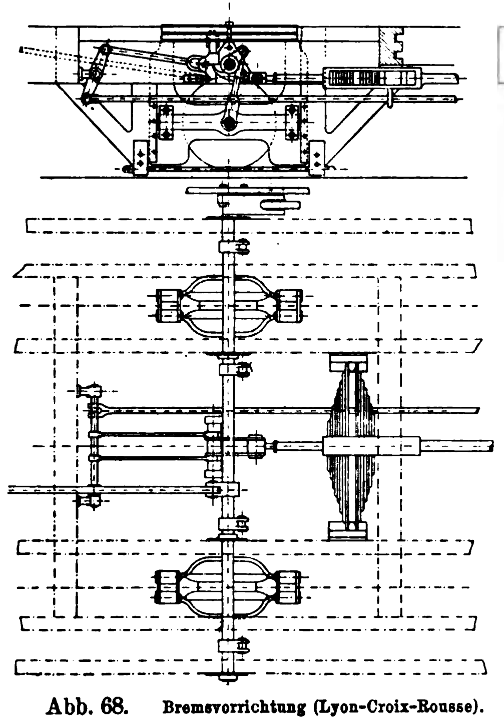
Auf 1000 m Förderlänge werden 1000 Wagen, auf je 1000 m mehr 250 Wagen gerechnet. Die jährlichen Reparaturkosten der Mitnehmer können zu 180 Mk. für je 1000 m Förderlänge veranschlagt werden.

Betriebs- und Förderkosten für 1 tkm bei den verschiedenen Seilförderungen:

Förderlänge in m		1000	2000	3000	4000
Förderung mit englischem Mitnehmer	Pfg.	2,82	1,97	1,78	1,70
" " Anschlußkettchen	"	3,40	2,25	2,00	1,88
" " Hanfknotenseil	"	2,68	2,00	1,85	1,79
" " Metallknotenseil	"	2,51	1,90	1,82	1,80
Im Durchschnitt bei Förderung mit Seil ohne Ende	"	2,85	2,03	1,86	1,79

§ 6. Seilbahnen für Personenbeförderung. — Lyon-Croix-Rousse. Der von 4000 Einwohnern besetzte Stadtteil La Croix-Rousse wurde 1862 mit dem etwa 70 m tiefer liegenden Hauptteile von Lyon durch eine, von den Ingenieuren Molinos und Pronier erbaute, Seilbahn verbunden[19]). Die geradlinige, 489 m lange Strecke hat ein Doppelgleis von 1,45 m Spurweite und ein Einheitsgefälle von 160 v. T. Die breitfüßigen Schienen liegen auf eichenen Langschwellen, diese auf Querschwellen. In den gedeckten Endhallen gabeln sich die mit 20 v. T. geneigten Gleise; die beiden inneren Stränge dienen dem Personen-, die äußeren dem Güterverkehr. Jeder Zug besteht aus drei Wagen. Die zweistöckigen Personenwagen fassen bei 12 t Leergewicht 108 Personen. Es sind auch Wagen von 84 bis 100 Plätzen I. und II. Klasse mit 8070 bis 8530 kg Leergewicht im Betrieb gewesen. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt 2 m/sek. Zwei Dampfmaschinen von je 150 PS treiben die Anlage vom obern Ende aus. Das Seil, dessen regelmäßiges Auflaufen durch Leitösen gesichert wird, ist fünfmal um die Trommel von 4,5 m Durchmesser und 3,375 m Länge gelegt. Bremsbänder zur Geschwindigkeitsregelung können teils von Hand, teils durch Dampf angezogen werden. Das erste Seil bestand aus 252 in 7 Litzen angeordneten Gußstahldrähten von 2 mm Durchmesser, wurde aber, da der verwendete Stahl die Biegung nicht gut aushielt, bald durch ein Eisendrahtseil ersetzt.

Bei Seilbruch treten zwei Arten von Bremsvorrichtungen selbsttätig wirkend ein, können aber auch durch den Schaffner ausgelöst werden. Die erste derselben setzt sich aus vier gewöhnlichen Bremsbacken zusammen, welche auf vorspringende, an den Laufrädern befestigte Scheiben wirken und durch vier Gewichtshebel ange-



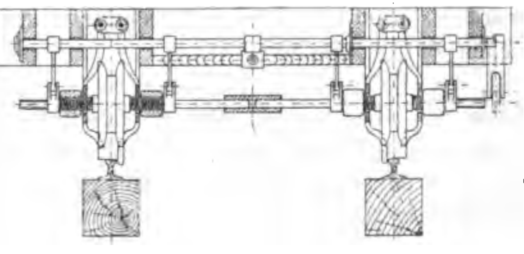


Abb. 68. Bremsvorrichtung (Lyon-Croix-Rousse).

drückt werden. Die zweite Bremseinrichtung soll verhindern, daß bei vollständiger Feststellung der Wagenräder der Zug dennoch herabgleite; sie wirkt unabhängig vom Wagengewicht auf die Schienen. In der Mitte jedes Wagens, senkrecht über den Schienen, befinden sich zwei Räder mit hohen doppelten Spurkränzen, die den Schienenkopf umfassen (Abb. 68) und durch die Wagenbewegung gedreht werden können. Die Achsen dieser schweren Räder besitzen rechts- und linksgängige Schrauben, deren Muttern die in Gelenkzapfen

[19]) Handb. für Spez. Eisenbahn-Technik, V. Bd. S. 497; dgl. Couche, Voie, matériel roulant et exploitation technique des ch. d. fer, 1873, p. 746.

am Wagengestell ruhenden, zangenartigen Hebel gegen die Schienen pressen. Bei regelmäßigem Betriebe sind die Zangen geöffnet und die Reibungsrollen durch einen Klinkhaken, welcher auch die Gewichtshebel der ersten Bremse zurückhält, schwebend über den Schienen gehalten.

Das Zugseil faßt den obersten der drei Wagen eines Zuges an einer mittleren Zugstange, welche zunächst auf ein paar Blattfedern wirkt. Sobald letztere durch Seilbruch außer Spannung geraten, schnappt der Klinkhaken aus, dabei die Gewichtshebel der ersten und die Rollen der zweiten Bremse auslösend. Auf die Schienen fallend drehen sich die Rollen und pressen vier Zangenpaare an deren Köpfe. Eine durchgehende Zugstange bringt die ähnlich eingerichteten Bremsen der übrigen Wagen zur Wirkung. Wiederholte Versuche bestätigen, daß die durch eine Zugsgeschwindigkeit von 2 m/sek. erzeugte lebendige Kraft bei Seilbruch auf 2,5 m Bremsweg verzehrt wird. 1905 ereignete sich ein Unfall durch Versagen der Dampfbremse.

Um den Zangen an den Schienen freien Durchgang zu geben, wurde von einer eigentlichen Laschung abgesehen und die Schienen unter dem Fuß durch eine Blechplatte vereinigt. Bemerkenswert ist die Vorrichtung, welche verhütet, daß die Bremsen infolge der stark nachlassenden Seilspannung beim Einfahren in die geringe Steigung des Bahnhofes in Tätigkeit treten. Die Welle, an welcher die verschiedenen Bremsen hängen und welche sich beim Niederfallen der Gewichtshebel und Räder drehen muß, ist nach der einen Seite verlängert und trägt dort an einem Hebel eine Rolle, welche, am Bahnsteig geführt, ein Herabsinken verhindert. Für den Güterverkehr dienen mit großer Brücke versehene Wagen, auf denen ein bespanntes Fuhrwerk Platz findet. Ihr Gewicht beträgt im beladenen Zustande etwa 15 t. In den ersten Jahren wurden besondere Lastzüge gebildet, später aber diese Wagen an den gewöhnlichen Zügen angehängt.

Seilbahn von Lyon nach Fourvière und St. Just. Nachdem die Seilbahn von Lyon-Croix-Rousse allen Anforderungen vollkommen genügte, wurde nicht gezögert, auch andere Anlagen nach diesem Muster zu schaffen. 1872 erhielten die Gebrüder Riche die Genehmigung zum Bau einer Seilebene nach Fourvière (Wallfahrtsort) und St. Just. Die zweigleisige Linie von 822 m Länge überwand einen Höhenunterschied von 97 m und hatte eine Mittelstation, deren Höhenlage in der unteren Hälfte 200 v. T. Steigung, in der oberen dagegen nur 61 v. T. zuließ. Die Spurweite betrug 1,5 m. Fast die ganze Bahn befindet sich im Tunnel. Die Schienen von 35 kg/m Gewicht waren auf tannenen Längsschwellen (240/180 mm) befestigt, welche ihrerseits auf eichenen Querschwellen (220/130 mm) ruhten. Die verschiedene Steigung der beiden Hälften bedingte die Anwendung eines Ausgleichwagens, welcher immer nur die untere Strecke durchlief.

Die Personenwagen von 9 t Leergewicht hatten 8 Sitz- und 92 Stehplätze. Die Güterwagen (8,2 t Leergewicht) konnten einen mit zwei Pferden bespannten Wagen aufnehmen. Die Bremsen waren ähnlich wie diejenigen von Croix-Rousse, versagten aber 1889 anläßlich eines Seilbruches, so daß der Wagen nach unten fuhr und zerschellte, wobei fünf Insassen verletzt wurden.

Die Seilbahn ist seit 1900 umgebaut und wird mit elektrischen Lokomotiven auf Abt'schen Zahnstangen befahren. Die Lokomotiven, von der Schweizerischen Lokomotivfabrik in Winterthur (mit elektrischer Ausrüstung von Brown, Boveri & Co. in Baden) gebaut, dienen sowohl für die Reibungsstrecke von 3 bis 6 v. H. Steigung, als auch für die Zahnstangenstrecke von 19 v. H. Sie haben zwei Reibungstriebwerke



von 50 PS und ein Zahnradtriebwerk von 150 PS mit 700 Umdrehungen und 500 Volt. Auf den Steilrampen arbeiten alle drei Triebwerke gleichzeitig. Das Gewicht der Lokomotive beträgt 12 t, dasjenige des ganzen Zuges 28 t. Die Drehgestellwagen bestehen aus der 7 m langen Brücke mit Führerhaus und sind auf drei Achsen gelagert. Von diesen ist die obere einfache Laufachse, die beiden unteren sind als Drehgestell (Truck) angeordnet und werden von zwei Zahnradtriebwerken von 90 PS betrieben. Reibungsräder und Zahnräder sind durch Stangen miteinander gekuppelt. Diese Wagen wiegen samt Zahnrad- und Bremseinrichtung 9 t. Die letztere umfaßt eine gewöhnliche Spindelbremse, sowie eine selbsttätige Geschwindigkeitsbremse mit Schwungregler (Zentrifugalregulator), welche mit elektrischen Bremsen in Verbindung steht. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt 9 bis 12 km/Std.

Die Ofener Seilbahn[20]), dem Grafen Eugen Széchényi genehmigt, wurde von einer Aktiengesellschaft dem Ingenieur Heinrich Wohlfahrt zur Ausführung übertragen, 1868 bis 1869 erbaut und im März 1870 eröffnet. Sie dient zur Personenbeförderung und verbindet bei 80 m Länge den unteren Teil der Stadt Ofen mit der etwa 47,4 m höher liegenden Königsburg. Die beiden gleichlaufenden Gleise mit einer Steigung von 577 v. T. bestehen aus leichten Schienen, welche auf hölzernen Längs- und eingemauerten Querschwellen ruhen.

Die zwei Wagen mit drei treppenförmigen Abteilungen zu je acht Sitzplätzen wiegen leer 2,8 t, voll belastet 4,3 t. Die Betriebsmaschine (Zwillingsdampfmaschine mit 395/632 mm Zylindern) steht im Kellergeschoß des unteren Bahnhofes. Sie bewegt zwei Seiltrommeln, die abwechselnd von dem am oberen Bahnende um schräg gestellte Umkehrrollen laufenden Seil aufnehmen und abgeben. Für den Fall eines Seilbruches sind zwei Sicherheitsvorrichtungen vorhanden. Die eine besteht in gezahnten Kreisausschnitten, welche mit Hilfe einer Federanordnung unter dem Wagenkasten vortreten und sich gegen feste Holzbalken (Fangbäume), welche zu beiden Seiten jedes Gleises auf die ganze Bahnlänge mit dem Mauerwerk kräftig verbunden sind, einkeilen. Die andere läßt die am oberen Wagenende befindlichen Zahnräder gegen die Fangbäume treten und durch Gewichtshebel festpressen. Der Bremsweg beträgt 250 bis 500 mm. Die Gesamtkosten der Bahn betrugen 364600 Mk., wovon 38900 Mk. auf die mechanische Anlage, 11700 Mk. auf drei Wagen entfielen.

Seilbahn auf den Leopoldsberg bei Wien[21]). Ähnlich wie die Ofener Bahn angelegt, führte diese durch Franz Felbinger erbaute und 1873 eröffnete Seilbahn nach dem berühmten Aussichtspunkt des Wiener Waldgebirges. Die untere Steigung betrug 232 v. T., die obere 373 v. T., die wagrechte Länge 760 m bei 242 m Höhenunterschied. Die auf Langschwellen gelagerte Doppelbahn hatte 1,895 m Spurweite und 6,3 m Gleisentfernung. Die Wagen von 15 t Leergewicht faßten bei 9,4 m Länge und 3,29 m Breite in zwei Stockwerken 100 Personen. Die Sitze waren in fünf staffelförmigen Abteilungen untergebracht. Jeder Wagen hing an einem besonderen Seil von 54 mm Dicke, bestehend aus 114 Gußstahldrähten von 3 mm Durchmesser. Das eine Seil war von oben, das andere zur Gewichtsausgleichung von unten über die Trommel ($d = 6,9$ m) geschlungen. Ein Spannseil von 20 mm Stärke verband die Wagen an den unteren Enden, während ein Fangseil, dessen obere Rolle mit einer Dampfbremse verbunden war, bei Seilbruch in Tätigkeit treten sollte. Ende

---

[20]) Handb. f. Spez. Eisenbahn-Technik, V. Bd., S. 499. Couche, Matériel roulant, Liv. III, p. 751.

[21]) Handb. f. Spez. Eisenbahn-Technik, V. Bd., S. 501.



1873 richtete Ingenieur Emil Schrabetz auf Verlangen des österreichischen Handelsministeriums eine selbsttätige Bremse ein (unter teilweiser Benutzung derjenigen von Lyon). Das Anziehen der Bremszangen erfolgte durch Rollen und Drahtseil von einer auf der Laufachse sitzenden Reibungskuppelung aus. Der Wagenkasten ruhte auf federnden Zwischenlagen. Seit 1875 ist die Bahn nicht mehr im Betriebe.

Seilbahn Galata-Pera (Konstantinopel)[22]. Diese vom französischen Ingenieur E. Gavand gebaute Verbindungsbahn der genannten zwei Vorstädte Konstantinopels, wurde im Jahre 1875 dem Betriebe übergeben. Sie liegt ganz im Tunnel und hat einen parabolischen Längenschnitt mit 100 v. T. unterer und 149 v. T. oberster Steigung. Die geradlinige, zweigleisige Strecke hat eine wagrechte Länge von 606,5 m; die erstiegene Höhe beträgt 61,55 m. Die beiden oben befindlichen Seiltrommeln haben gemeinsame Achse, so daß ein Wagen heruntergeht, wenn der andere aufwärts fährt. Das Anfahren geschieht durch Lösen der Bremsen am oberen Wagen, die gleichmäßige Bewegung wird durch eine Dampfmaschine unterhalten.

Die flachen Seile wiegen 8,5 kg/m und bieten bei der Größtlast von 5 t eine zehnfache Sicherheit. Flache Seile wurden gewählt, um eine gleichförmigere Fahrgeschwindigkeit zu erzielen, als dies bei der Auf- und Abwicklung eines runden, viel dickeren Seiles in vielen Lagen möglich geworden wäre. Die Geschwindigkeit beträgt 3 m/sek. Jeder Zug besteht aus zwei Wagen, von denen der eine 90 Personen faßt, während der andere Lastwagen und Güter, nötigenfalls auch 60 Personen aufnimmt.

Die leeren Personen- und Brückenwagen wiegen 11 bzw. 8 t. Die ganze Anlage kostete 3450000 Mk., wovon 1590000 Mk. auf die Enteignung und 810000 Mk. auf den Tunnel entfallen. Auf das laufende Meter kommen somit 5300 Mk., gegenüber 5100 Mk. für die Seilbahn von Lyon-Croix-Rousse.

Die Seilbahn in Pittsburg, Pa., Vereinigte Staaten Nordamerikas[23]), genannt Monongahela inclined plane, hat eine wagrechte Länge von 192 m und überwindet bei gleichmäßiger Steigung von 58 v. H. eine Höhe von 111 m. Die ganze Anlage ist derjenigen vom Leopoldsberg ähnlich. Die oben stehende Maschine mit zwei Zylindern (300/600 mm) bewegt eiserne Fördertrommeln von 2,7 m Durchmesser. Das 33 mm dicke Drahtseil besteht aus 114 Drähten; ein Fangseil erhöht die Sicherheit. Die Wagen zu 25 Sitzplätzen fahren mit 2,4 m/sek. Geschwindigkeit. Der unterste Teil der Bahn ruht brückenartig auf eisernen Pfeilern.

Eine neuere Seilbahn in Pittsburg[24]) hat eine gerade Strecke von 241 m Länge, T-Eisen-Schienen von 6 kg/m Gewicht und 1,52 m Spurweite. Der Oberbau hat 6 m Breite. Die Betriebsmaschine von 70 PS steht oben. Die Wagen haben wagrechten Boden und 25 Sitzplätze. Der unten entstehende Kasten dient zur Aufnahme von Gepäck. Das Seil bietet zehnfache Sicherheit; überdies ist ein Fangseil vorhanden. Beide Seile werden durch Holzrollen getragen. Die Wagen sind von keinem Führer begleitet. Der untere Teil der Strecke ruht auf einer 110 m langen Eisenbrücke. Die Baukosten betrugen 960000 Mk., der Fahrpreis ist 6 cents (24 Pfg.).

Schiefe Ebenen in Cincinnati (Ohio)[25]. Die Stadt weist eine eigenartige Bauweise insofern auf, als das Geschäfts- und Fremdenviertel zum größten Teil nahe am Flusse liegt, während die vornehmen Stadtviertel auf Hügeln sich ausbreiten.

---

22) Lévy, Les Chem. d. f. funiculaires, p. 42.

23) Handb. f. Spez. Eisenbahn-Technik, V. Bd., S. 502.

24) Schweiz. Bauztg. 1881, XIV. Bd., S. 16.

25) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1905, S. 1135.



Die erste Seilbahn in Cincinnati war die Mount-Auburn-Bahn[26]), welche, der vorherbeschriebenen ähnlich, im Jahre 1872 erbaut wurde. Statt der 60pferdigen Dampfmaschine ist jetzt elektrischer Betrieb eingeführt.

Die elektrischen Straßenbahnwagen gelangen mit Hilfe von schiefen Ebenen nach den höher gelegenen Stadtteilen. Es bestehen fünf solcher Ebenen (inclines), die alle in den siebziger Jahren gebaut und jetzt nur für den elektrischen Betrieb etwas abgeändert worden sind.

Bei einer dieser Ebenen beträgt die zu überwindende Höhe 43 m, die wagrechte Länge 135 m. Die hölzerne Fahrbahnunterlage trägt auf gußeisernen Schuhen und einer mäßig versteiften Eisenkonstruktion die Schienen, auf denen die Bühne in die Höhe gezogen wird. Die Fahrbahn wird von 19 hölzernen, untermauerten Pfeilern gestützt und mündet unten etwas unterhalb der Straßendecke, oben auf einem gemauerten Endpfeiler. Die Bühne selbst ist 12,2 m lang und 3,05 m breit, ohne den Ausbau für den Führer, und besteht aus einer Winkeleisenkonstruktion, deren beide Seitenflächen dreieckig gestaltet sind. Die Last wird auf zwei annähernd normale Straßenbahnuntergestelle von je einem lotrechten Hauptträger durch zwei Böcke und federnde Schwingen übertragen. Die Seile greifen unmittelbar an den Untergestellen an und werden von einer nahe der oberen Haltestelle gelegenen elektrischen Kraftquelle betrieben. Die Anlage scheint trotz ihrer primitiven Einrichtungen in den langen Jahren ihres Bestehens zu keinen ernsten Bedenken Anlaß gegeben zu haben.

Die Seilebene von Jersey City (New-York)[27]) wurde 1874 für die Summe von $1^1/_2$ Mill. Mark erbaut. Sie befördert außer Personen auch gewöhnliche Straßenfuhrwerke. Die von der North-Hudson-County-Car-Company erbaute Strecke ist zweigleisig mit 2,38 m Spurweite und einer Steigung von 1 : 4. Der Höhenunterschied beträgt 31,16 m. Wagen mit zwei zweiachsigen Drehgestellen nehmen in gesondertem Häuschen auf der für Fuhrwerke bestimmten Brücke Fahrgäste auf. Unten fährt der Wagen in eine Vertiefung, wodurch die Brücke auf Straßenhöhe kommt. Die zweizylindrige Maschine liegt in der oberen Station und hat 80 PS. Die beiden Seiltrommeln von 3,65 m Durchmesser werden durch Zahnräder angetrieben. Außer den beiden Zugseilen von 44 mm Durchmesser ist noch ein Fangseil vorhanden, welches immer gespannt ist und durch seine Umkehrscheibe mit guten Bremsvorrichtungen in Verbindung steht.

Drahtseilbahn (Bauart G. Sigl) nach der Sophienalp. Diese im Herbst 1874 eröffnete Versuchsbahn führte vom oberen Ende des Hütteldorfer Tales nach der Sophienalp. Die wagrecht gemessene Strecke betrug 600 m, der Höhenunterschied 108 m bei einer Durchschnittssteigung von 1:5,5. In zwölf leichten, vierplätzigen Wagen (Abb. 69, S. 140), die sich in kurzen Zeiträumen folgten, konnten bei 1,5 m/sek. Geschwindigkeit stündlich 200 Personen bergwärts, und ebensoviel talwärts befördert werden.

Die Spurweite betrug 1,20 m. Das endlose Seil trug in Entfernungen von 50 m kugelförmige Knoten, an welche sich die löffelartigen Seilhebel legten (Abb. 69). Eine 15pferdige Lokomobile am oberen Bahnende lieferte die nötige Triebkraft. Am untern Bahnende befand sich die Seilspannvorrichtung und eine einfache Schiebebühne zur Verbindung der beiden Gleise. Die nach Art der Straßenwagen gebauten

[26]) Handb. f. Spez. Eisenbahn-Technik, V. Bd., S. 503.
[27]) Handb. f. Spez. Eisenbahn-Technik; V. Bd., S. 503.



Fuhrwerke hatten eiserne Räder mit Spurkränzen und feste Achsen. Ein deichselartiges, verschiebbares Langholz vermittelte durch eine lange Sprungfeder den Seilzug auf den Wagen. An den löffelartigen Klauen befanden sich beiderseitig Zapfen mit Rollen, welche durch Auflaufen auf entsprechenden Flächen ein selbsttätiges Abkuppeln der Wagen bewirkten. Die Deichsel schob selbsttätig Keilklötze hinter die Räder, sobald die Seilspannung aufhörte, und es war durch Anbringen von Haken und Vorsprüngen an Schwellen und Keilklotz ein Hemmnis geschaffen, welches das Fortgleiten verhinderte. Die Anlagekosten beliefen sich auf 960000 Mk.

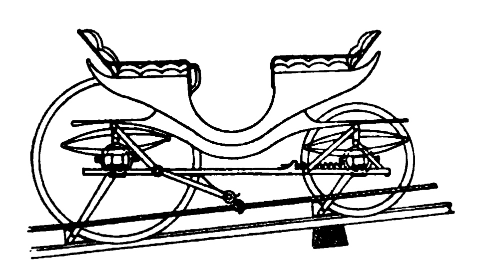


Abb. 69. Wagen der Sigl'schen Seilbahn.

Die Eigenart der Sigl'schen Seilbahn besteht in der Verteilung des Verkehrs auf kleine Gruppen, sowie in dem ununterbrochenen Betrieb, der eine nur geringe Arbeitsleistung fordert. Die Anlage kam bald außer Betrieb.

Seilbahn Nancy[28]). In neuester Zeit hat der Sigl'sche Gedanke in der seit April 1905 zu Nancy in Betrieb stehenden Anlage nochmals Verwirklichung erlebt.

Die 229 m lange Seilbahn verbindet die Stadt Nancy mit dem 48 m höher gelegenen Luftkurort Saint-Antoine. Zwei parallele Gleise ohne Seitenkrümmungen liegen 1,95 m voneinander und werden (bei 0,75 m Spurweite) von 9 kg/m schweren Schienen, die auf eichenen Langschwellen (12 × 18 cm) ruhen, gebildet. Die Langschwellen ihrerseits ruhen in Abständen von 2 m auf eichenen Querschwellen (12 × 18 × 130 cm). Eine unmittelbar auf den Querschwellen befestigte Mittelschiene dient dem mit Rollen versehenen Seil als Laufbahn.

Der Längenschnitt der Anlage weist unten eine kurze, wagrechte Strecke auf, welcher Steigungen von 16 v. H., 24 v. H. und 27 v. H., bei Längen von 77,5 m, 27 m und 100 m folgen. Die Einfahrt in die obere Station liegt in der Wagrechten. Die zwei in sich geschlossenen und 50 mm übereinander liegenden Tiegelgußstahlseile von 24 mm Durchmesser (ohne Hanfeinlage) sind alle 1,5 m durch zusammengeschraubte, den Seilen angepaßte Flacheisen (Briden) gehalten. Jedes Seil bietet zehnfache Sicherheit gegen Bruch. Die Hälfte der Briden trägt Rollen von 80 mm Kehlendurchmesser, welche auf der Mittelschiene laufen. Die Briden verhindern das Rutschen des Seiles auf der mit Einschnitten versehenen Antriebscheibe und die mit Rollen versehenen dienen dem Wagen als Stützpunkt. Die größte zulässige Fahrgeschwindigkeit beträgt 1 m/sek.

Die Wagen sind offen, 1,8 m lang, 1,4 m breit, haben 6 Plätze (2 × 3 Sitze, Rücklehne gemeinsam) und werden von zwei Achsen mit 0,8 m Radstand und Stahlgußrädern von 0,3 m Durchmesser getragen. Die Achsen laufen in Kugellagern.

Auf den Endstationen lösen sich die Wagen selbsttätig vom Seil und werden von einer Schiebebühne nach dem andern Gleis geschafft. Der die Station bedienende Schaffner hängt den Wagen mittels Mitnehmer an das Seil. An den Wagen sind zwei selbsttätig wirkende Bremsvorrichtungen angebracht. Die eine besteht aus je einem auf die Achsen aufgekeilten Klinkensperrad, die andere aus zwei an den Wagenseiten befestigten Krücken, welche beim Niederfallen gegen die in Abständen von 0,45 bis 2,0 m voneinander entfernten eisernen Anschläge der Längsschwellen

[28]) Vgl. Génie civile, 1906, S. 281.

stoßen. Bei angehängtem Wagen werden Klinken und Krücken durch eine Feder gehoben; auf den Stationen verhindert eine in einer Rinne sich bewegende Kugel das Auslösen. An beiden Streckenenden sind endlose Schiebebühnen aufgestellt, welche die Wagen um 1,95 m seitlich nach dem andern Gleis verschieben. Die Schiebebühnen werden aus je 18 Stahlplatten von 0,65 m Breite, welche durch zwei Ketten von 0,65 m Gliedlänge verbunden sind, gebildet. Je die dritte Platte ist mit zwei Schienen versehen. Zwei sechseckige Trommeln von 1,3 m Durchmesser, deren eine von einem besonderen, immer laufenden Motor durch Lederkolben, Reibungsscheibe und Gall'sche Kette angetrieben wird, bewegen und tragen das Plattenband. Die Geschwindigkeit der Bühne beträgt 0,25 m. Die obere Station enthält Maschinenraum, Wagenschuppen und Reparaturwerkstätte. Der Antrieb erfolgt durch doppelte Zahnräderübersetzungen von einem 25-Kilowattmotor auf die mit Pfeilzähnen versehene Antriebscheibe ($D = 1{,}95$ m). Elektrische und Handbremsen sind vorgesehen. Bei talwärts gehender Überlast wird durch Vorschalten von Widerständen reguliert. In der untern Station befindet sich eine auf einem Schienenwagen gelagerte und durch ein Gewicht von 1200 kg belastete Spannrolle von 1,95 m Durchmesser. Die Zugänge zu den Wagen sind so angebracht, daß der Wagenboden mit denselben auf gleicher Höhe liegt. Ein- und Aussteiggänge sind voneinander getrennt.

Zehn Wagen mit einem durchschnittlichen Abstand von 45 Sekunden fördern stündlich 480 Reisende in jeder Richtung. Die Anlage ist so berechnet, daß bis zu 20 Wagen eingestellt werden können, wodurch sich die Leistung verdoppelt.

Die Bergfahrt kostet 12 Pfg., die Talfahrt 8 Pfg., Berg- und Talfahrt 16 Pfg.

Die Bedienung besteht aus drei Mann: einem Maschinenwärter in der obern Station und einem Mann auf jeder Station zum Auswechseln der Wagen.

An Festtagen wurden 1600 bis 1800 Personen befördert, im Juli 1905 im ganzen 15000 Personen.

Die gesamten Anlagekosten beliefen sich auf etwa 48000 Mk.

§ 7. Reibungsbahnen mit Seilbetrieb. Eisenbahn von Dom Pedro San Paulo in Brasilien[28a]). Im Jahre 1860 wurde der Bau einer Eisenbahn von San Paulo (350 km südwestlich von Rio Janeiro) nach Jundiahy begonnen und in etwa acht Jahren vollendet. Die bei Santos (2 m ü. M.) beginnende, 140 km lange Strecke, welche bedeutende Bauschwierigkeiten bot, durchzieht zuerst ein Sumpfland und erreicht nach 21,6 km (21 m ü. M.) die senkrecht zur Bahn streichende Bergkette Serra do mar, welche schroff bis zu 780 m ü. M. emporsteigt. Die begrenzte Bausumme zwang vom Lokomotivbetrieb abzusehen und Seilebenen einzurichten, deren vier an der Zahl, von 1,948; 1,080; 2,697 und 2,140 km Länge bei einer mittleren Steigung von 10,2 v. H. und einer Gesamtlänge von 8 km gebaut wurden. Jede Seilebene ist von der folgenden durch eine 76 m lange Stufe mit abwärts gerichteter Neigung von 13 v. T. getrennt.

Aus Kostenrücksichten hat nur die Hälfte jeder Seilebene zwei Gleise, bestehend aus drei Schienen, von denen die mittlere gemeinsam ist. Die Kreuzung hat vier Schienen. Unterhalb dieser Stelle, wo also immer nur ein Zug fährt, ist durch Vermittlung selbsttätiger Weichen nur ein Gleis notwendig. Früher wurden die Weichen durch einen besonderen Wärter gestellt. Im oberen Teile sind zwei, im unteren eine Reihe Seilrollen mit 14 bis 20 m Abstand verlegt.

28a) Couche, Voie, Matériel Roulant et Exploitation technique des Ch. d. f. Liv. III, p. 753.



Auf den Stufen zwischen den geneigten Ebenen liegen drei Gleise nebeneinander. Die abwärts fahrenden Züge benutzen das mittlere derselben, die aufwärts fahrenden weichen abwechselnd rechts und links aus. Die tiefe Anordnung des Seilangriffspunktes sichert das Zurückfallen des Seiles in die Tragrollen. Das 32 mm starke Seil dauerte etwa zwei Jahre. Am oberen Ende jeder Ebene stehen seitwärts der Gleise zwei wagrechte Dampfmaschinen von je 150 PS mit Zylindern von 660/1524 mm und 12 Atm. Dampfdruck. Die Maschinen machen 22 Umdrehungen in der Minute und treiben durch Zahnräder eine dreikehlige Scheibe von 3 m Durchmesser. Zwischen letzterer und der zweikehligen Vorgelegescheibe ist das Zugseil in Gestalt von zwei 8 geschlungen und wird durch wagrechte Ablenkungsscheiben ($d = 3$ m) in die Gleisrichtung gebracht. Das Schwungrad ist mit einer kräftigen Bremse, sowie mit einem die Zugstellung angebenden Zeigerwerk versehen. Mit jedem Zuge gehen 6 t schwere Bremswagen, welche neben Klotzbremsen an jedem Rad noch besondere Sicherheitsbremsen tragen, die, zangenartig den Schienenkopf fassend, den Zug auf wenige Meter zum Stehen bringen können.

Ein Hebelpaar, die Zange bildend, wird durch eine Spindel mit Rechts- und Links-Gewinde bewegt. Ein in eisernen Gleisstücken geführtes Gegengewicht hält die ruhende, durch Hebel mit Fußtritt bedienbare Bremse hoch. Schon nach kurzer Betriebszeit mußte von der Verwendung dieser Zangenbremsen abgesehen werden.

Drei beladene Wagen nebst Bremswagen bilden den Zug, dessen Größtgewicht $34 + 6 = 40$ t beträgt, wovon 21 t Nutzlast sind. Die Fahrzeit auf jeder Ebene beträgt etwa 15 Minuten. Die Gesamtbaukosten beliefen sich auf 300000 Mk. für das Kilometer, bzw. 400000 Mk., einschließlich Verzinsung während der Bauzeit. Die Bahn wurde von Brunless als Oberingenieur und D. M. Fox als ausführendem Ingenieur erbaut.

Vor einigen Jahren wurden die Seilebenen umgebaut[29]). An Stelle der Doppelkopfschienen von 32 kg/m Gewicht wurden solche von 43 kg/m verlegt. Die Zugseile von 60 mm Durchmesser sind in sich geschlossen und bieten zehnfache Sicherheit. Die Rollenentfernung beträgt in der Geraden 6 m, in Krümmungen 3 m. Die im untersten Teile befindlichen Kunstbauten, Viaduc de Grotta Funda, von 215 m Länge und 48,78 m Größthöhe, in 9,75 v. H. Steigung und 600 m Krümmung gelegen, wurde nicht verändert. Die Spurweite beträgt 1,6 m.

Die Arbeitszeit auf der Seilebene beträgt zwölf Stunden, die Fahrzeit etwa 40 Minuten.

Am Fuß und Kopf der Steilrampen werden die Züge von zweiachsigen Tenderlokomotiven von 33 t Gewicht übernommen, die mit besonderen Bremsvorrichtungen versehen sind und mit eigenartigen Greifern das Zugseil packen. Da das Anhängen an das Seil nur an den dafür vorgesehenen Stellen stattfinden kann, erfolgt die Zugskreuzung in richtiger Weise in der Mitte. Am Kopfende der ersten Seilebene angekommen, schiebt die Lokomotive den Zug vor und hängt sich an das Seil der zweiten Rampe u. s. f. Zur Zeit der Kaffeeernte werden täglich bis 90 Züge befördert, von denen jeder etwa 120 t wiegt. Bergab sind im Tag oft bis zu 2700 t Kaffee zu befördern (Santos ist Hauptstapelplatz für den Kaffeehandel). Die Schnellzüge von

[29]) Revue gén. d. ch. d. f. 1902, p. 314. Railway and Locom. Engineering, 1903, p. 11. Glaser's Annalen 1905, S. 160.



Santos nach San Paulo werden meist in zwei Teilen über die Seilbahnen gefördert und legen die ganze Strecke von 78 km einschließlich aller Aufenthalte in $2^1/_4$ Stunden zurück. Die Geschwindigkeit auf den Seilebenen beträgt 20,5 km/Std. Für den Dienst auf den Seilbahnen sind 16 nach Art der Dampfstraßenbahnlokomotiven gebaute Maschinen vorhanden.

Schiefe Ebene von Lüttich. Die Bahn, welche Köln mit Antwerpen und Ostende verbindet, einer der ersten großen Verkehrswege auf dem Kontinent, durchschneidet wichtige Flußgebiete und wäre nur mit großen Geldopfern auf größere Länge mit geringem Gefäll zu entwickeln gewesen. Die Bahnhöfe von Aachen und Lüttich liegen unzweckmäßig unmittelbar an den Fußpunkten der schiefen Ebenen.

Die 1838 begonnene, 1842 vollendete schiefe Ebene von Lüttich war bis 1871 im Betrieb; 1866 wurde der Personenverkehr eingestellt. Sie war in zwei gleich lange geradlinige Strecken von 1980 m geteilt, welche unter einem stumpfen Winkel von 148° zusammenstießen. Sie hatten wechselndes Gefäll mit je 55 m Gesamtsteigung, waren zweigleisig angelegt und mit je einem endlosen Betriebsseil versehen. Die wagrechte Verbindungsbahn von 230 m Länge lag größtenteils in einem Bogen von 350 m Halbmesser; das Maschinenhaus *a* (Abb. 70) in deren Mitte seitwärts vom Gleise, das Kesselhaus *b* mit sechs Kesseln demselben gegenüber. Jede der beiden Doppeldampfmaschinen wies 160 PS auf und konnte allein beide Strecken treiben. Die fünfkehlige Antriebsscheibe hatte 4,8 m Durchmesser. An den großen Seilrollen waren Bremsscheiben angegossen. Die 7000 kg schweren Gewichte der außerhalb des Maschinenhauses laufenden Spannwagen *s* bewegten sich in Schächten.

Auf der freien Bahn wurde das Seil in Abständen von 10 m durch gußeiserne Rollen getragen. Sechsrädrige Bremswagen von 8 bis 8,5 t Gewicht ermöglichten mittels schnell lösbarer Zangenvorrichtungen (Abb. 71) das Kuppeln der Züge an das Seil. Sie waren mit vier unmittelbar auf die Schienen wirkenden Schlittenbremsen ausgerüstet. Züge von höchstens acht Wagen (60 t) wurden mit 20 km/Std. befördert. Zwei mit dem Seil verbundene Bremswagen schlossen den

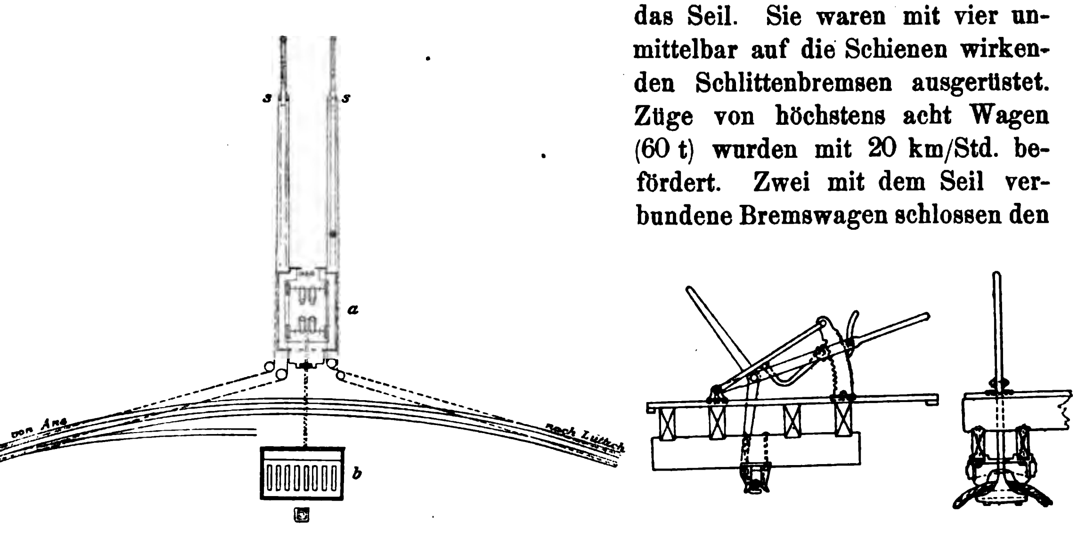


Abb. 70. Antriebstelle.

Abb. 71. Seilklemme.

bergwärts fahrenden Zug ein, während bei der Talfahrt das Seil nicht gefaßt und je fünf Wagen auf einen mit Laignel'schen Bremsen versehenen Bremswagen gerechnet wurden.

Die geneigte Ebene von Aachen (Aachen-Ronheide), wie die vorige nach

Maus'scher Bauart ausgeführt, kam 1843 in Betrieb. Sie war geradlinig und bei 1 : 38 Steigung 2086 m lang. Das Maschinenhaus lag oben, in der Verlängerung der Bahn, während die Gleise rechts und links daneben vorbeiführten. Da sich der Lokomotivbetrieb, mit einer Zug- und zwei Schiebemaschinen, um etwa 50 v. H. billiger stellte als der Seilbetrieb, wurde letzterer schon 1848 verlassen.

Die auf der Strecke Düsseldorf-Elberfeld (Bergisch-Märkische Bahn) zwischen den Stationen Erkrath und Hochdahl gelegene Seilebene hatte bei 2450 m Länge eine Steigung von 33 v. T. Anfänglich (1841) wurden die Züge mittels einer oben stehenden Dampfmaschine emporgezogen. Später zog eine talwärts fahrende Lokomotive den mit Schiebemaschine versehenen Zug am Seil empor, um dann wieder als Schiebemaschine bergwärts zu fahren. Das Seil lief dabei über eine zwischen zwei Gleise eingebaute Umkehrrolle. Auf dem dritten Gleise fuhren die Züge von Elberfeld mit gewöhnlichen Bremsen und Gegendampf ohne Seil abwärts. Auf je drei beladene Wagen wurde eine Bremse gerechnet; überdies standen oben in Hochdahl stets einige mit Steinen beladene Bremswagen bereit. Außergewöhnliche Züge von Düsseldorf, die keine Kreuzung hatten, wurden mit Hilfe des Seiles und der oben stehenden Reservedampfmaschine aufgezogen.

Die meisten im Zuge der Hauptbahnen von Deutschland, England, Frankreich und Italien liegenden Seilbahnen sind jetzt verlassen und dem Lokomotivbetrieb übergeben worden.

Eine Ausnahme macht unter anderen die schiefe Ebene der North British Railway auf Queen Station in Glasgow[30]. Die 1,8 km lange geradlinige Strecke zwischen Queen Station und Cowlairs Station wurde schon 1842 mit Hanfseilen als Schleppbahn betrieben. Der Höhenunterschied beträgt 45 m, und liegen 1300 m in 1 : 40, 500 m in 1 : 43 Steigung. Das in der zweigleisigen Strecke verlegte Drahtseil von 40 mm Stärke wird durch eine 650 PS Dampfmaschine angetrieben. Es werden Züge von mehr als 250 t mit 6 m/sek. Geschwindigkeit gefördert. Die am oberen Ende stehende Windemaschine ist durch Telephon mit dem Fuß der Rampe verbunden.

Das untere Streckenende, welches sich im Tunnel befindet, wird für die hinaufzuziehenden Lokomotiven durch ein frei brennendes Kohlenfeuer kenntlich gemacht. Bis zu diesem Feuer fährt der auf der Station abgelassene Zug heran. Ein Arbeiter hat dort inzwischen ein starkes Hanfseil, das in zwei dünne Enden ausläuft, um das Drahtseil geflochten. In eine Schleife dieses Seiles wird eine Kette gezogen, welche in einem Ring endigt, der seinerseits in den um 180° gedrehten Lokomotivhaken gelegt wird. Bei der Bergfahrt gibt die Lokomotive Dampf in die Zylinder. Am oberen Ende angekommen bleibt die Fördermaschine stehen, der Zughaken wird frei und die Maschine fährt, ohne anzuhalten, mit dem Zuge weiter. Am unteren Ende eines jeden Zuges fahren, für den Fall eines Seilbruches, 2 bis 3 Bremswagen. Es sind ebene Bühnenwagen mit Handbremsen, welche am oberen Streckenende von einem Bremser abgekuppelt und selbständig an den Fuß der Rampe gefahren werden. In einem Tage werden 70 bis 80 Züge über die Seilebene geführt. Die Seildauer beträgt 2 bis 3 Jahre.

Schiefe Ebene der Langreobahn (Asturien). Im Zuge der einspurigen 52 km langen Bahn Gijón-Ciaño St. Anna liegt zwischen den Stationen Florida und San Pedro eine schiefe Ebene von 750 m Betriebslänge, 92 m Höhenunterschied

[30]) Glaser's Ann. f. Gew. u. Bauw. 1902, S. 198.



und einem gleichmäßigen Gefälle von 12,5 v. H. Die seit mehr als 40 Jahren im Betrieb stehende Anlage bedarf notwendig eines Umbaues, zumal ein Bremsbergbetrieb leicht einzurichten wäre. Das Gleis ist doppelspurig (1,45 m Spurweite).

Auf der Linie verkehren jährlich:

Talwärts fahrend: 120 000 Reisende; 410 000 t Waren, davon 380 000 t Kohlen.
Bergwärts fahrend: 112 000 Reisende; 59 000 t Waren.

In jeder Richtung verkehren täglich zwei Personen- und acht Güterzüge.

Das Seil ist an einem Plattformwagen, der nur eine Reibungsbremse führt, befestigt, dagegen fahren mit den Personenzügen besondere Bremswagen mit Zangenbremsen.

Die Größtgewichte für talwärts fahrende Züge sind 240 t, die Kleinstgewichte für bergwärts fahrende 75 t. Jeder Zug wird an der Steilrampe in drei Stücke, die einzeln über die Rampe geführt werden, zerlegt. Die Seilgeschwindigkeit beträgt etwa 2,7 m/sek.

Der Umbau soll in nächster Zeit vorgenommen werden, vermutlich unter Zuhilfenahme von Zahnradlokomotiven mit Dampfbetrieb, wodurch die Seilebene endgültig gestrichen werden könnte.

Schiefe Ebenen der Ugandabahn[31]). Diese von den Engländern gebaute afrikanische Bahn hat in der Nähe des Victoria-Sees den Kikuyu-Höhenzug zu überwinden. Von einem Durchstich desselben wurde vorläufig abgesehen, da die Linie möglichst rasch eröffnet werden mußte, und so werden denn die steilen Strecken mittels Seilbahnen überwunden. Der Höhenzug setzt sich aus vier Erhebungen zusammen, zwischen denen kurze ebene Strecken liegen. Zwei dieser Erhebungen, die, in der Wagrechten gemessen, rund 500 m lang sind, und von denen die erste eine Steigung von 1 : 7,25, die andere eine solche von 1 : 10,4 aufweist, werden derart betrieben, daß belastete, von oben kommende Wagen leere Wagen hinaufziehen.

Die beiden anderen Ebenen sind in der Wagrechten 333 m und 432 m lang und haben Steigungen von 1 : 2,4 und 1 : 2,07. Die Seilzüge werden auf denselben mit Fördermaschinen gezogen. Die Treibscheibe von 3200 mm Durchmesser wird durch Kegel- und Stirnradübersetzung von einer 30 PS Lokomobile getrieben. Auf besonderen Bühnenwagen von 7 t Gewicht werden die zu fördernden Eisenbahnwagen von etwa 15 t Gewicht festgemacht. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt 6,4 km/Std.

Die Usambara-Eisenbahn hat auf schiefen Ebenen von 1 : 7 bis 1 : 2 Hanfseilbetrieb eingerichtet.

---

[31]) Zeitschr. d. Ver. Deutsch. Ing. 1901, S. 1833. Engineer 1901, p. 460. Glaser's Ann. f. Gew. u. Bauw. 1901, S. 198.

Zweiter Abschnitt.

Seilbahnen neuerer Bauart.

§ 8. Schwebende Seilbahnen. Seilbahnen mit unterbrochenem Betrieb. Draht- und Seilriesen. Seilbahnen mit ununterbrochenem Betrieb englisch-amerikanischer Bauart. — Unter die vielen Einrichtungen, welche bezwecken, die Ertragsfähigkeit eines industriellen Werkes zu heben, gehören in erster Linie diejenigen Anlagen, welche das Heranschaffen von Roh- und Feuerungsstoffen und das Wegschaffen der fertigen Erzeugnisse, sowie der Abfälle auf billige Weise ermöglichen. Geringe Anlage- und Betriebskosten bei kurzer Bauzeit, dabei Unabhängigkeit von der Bodengestaltung, von Schneefall und Überschwemmung, sowie geringer Grunderwerb bzw. niedriger Pachtzins sind die Kennzeichen dieser Seilbahnen.

Die zu fördernde Last bewegt sich entweder durch ihr Eigengewicht, oder wird durch ein Seil gezogen. Das Zugseil ist entweder ein endloses und der Betrieb geschieht ununterbrochen, wobei die Wagen sich auf den beiden Hälften in entgegengesetzter Richtung bewegen; oder das Seil ist offen, die Bewegung geht nur in einer Richtung vor sich, während für die entgegengesetzte ein zweites Seil benutzt werden muß, falls der Betrieb nicht durch Schwerewirkung geschieht. Ein weiterer Unterschied besteht bei den Bahnen mit ununterbrochenem Betriebe darin, daß das Zugseil entweder zugleich die Schiene bildet, oder daß besondere Zug- und Tragseile vorhanden sind. Die schwebenden Seilbahnen umfassen alle Förderbahnen, bei welchen das feste Gleis durch einen oder mehrere in der Luft gespannte Drähte oder Drahtseile ersetzt ist. Im besonderen lassen sich folgende Arten unterscheiden (Abb. 72):

1. Riesen, bestehend aus einer Laufbahn, auf welcher die Förderlast, an irgend einem Laufwerk hängend, durch Schwerkraft frei zu Tal fährt.

2. Seilbahn, bestehend aus endlosem Zugseil, an welchem ein Fördergefäß fest angebracht ist. Hin- und hergehender Betrieb.

3. Endloses Zugseil, an welchem in gewissen Abständen Fördergefäße befestigt sind. Ununterbrochener Betrieb (amerikanische Seilbahn).

4. Englische Seilbahn; in sich geschlossenes Seil, auf welchem mit Klemmsätteln versehene Wagen sitzen. Ununterbrochener Betrieb.

5. Ein Laufseil und ein an endlosem Seil befestigter, zwischen den Endpunkten verkehrender Wagen.

6. Zwei Laufbahnen, zwei Wagen, verbunden durch ein offenes Seil. Nur für kurze Strecken von 120 bis 250 m Länge geeignet. Nötigenfalls mit Wasserballast.

7. Seilbahn deutscher Bauart; zwei Laufseile, endloses Zugseil, Wagen mit Kuppelungsapparat, Wagenzahl dem Bedürfnis entsprechend. Ununterbrochener Betrieb.

Die einfachsten Formen der Seilbahnen finden sich in den

A. Draht- und Seilriesen,

auf welchen nur talwärts gefördert wird.

Zu ihnen gehören zunächst

a) Eingleisige Riesen,

bei welchen die Wagen entweder frei oder an einem Zugseil mit Bremsvorrichtung bewegt werden, die sich wieder als Drahtriesen einfachster Art und als eingleisige Seilriesen unterscheiden lassen.

1. Drahtriesen einfachster Art. Ihre Laufbahn besteht aus 6 bis 12 mm oder noch stärkerem Eisen- oder Stahldraht, wird aus einzelnen Stücken von etwa 30 m (25 kg) mit schräger, 100 mm langer Schnittfläche zusammengelötet, in der oberen Station verankert und unten durch eine Winde gespannt. Nach Erfordernis des Geländes werden bisweilen Zwischenunterstützungen angebracht. Diese Drahtriesen eignen sich zur Förderung geringer Einzellasten, wie Scheitholz, Faschinen, Reisig, Säcke u. dgl. Um den Stoß der ankommenden Förderlasten zu dämpfen, werden Erd- oder Faschinenpuffer aufgeführt. Zum Aufhängen der Last dienen einfache Haken mit Gleitsätteln oder Rollen, die von Zeit zu Zeit mit einem leichten Seil wieder hochgezogen werden.

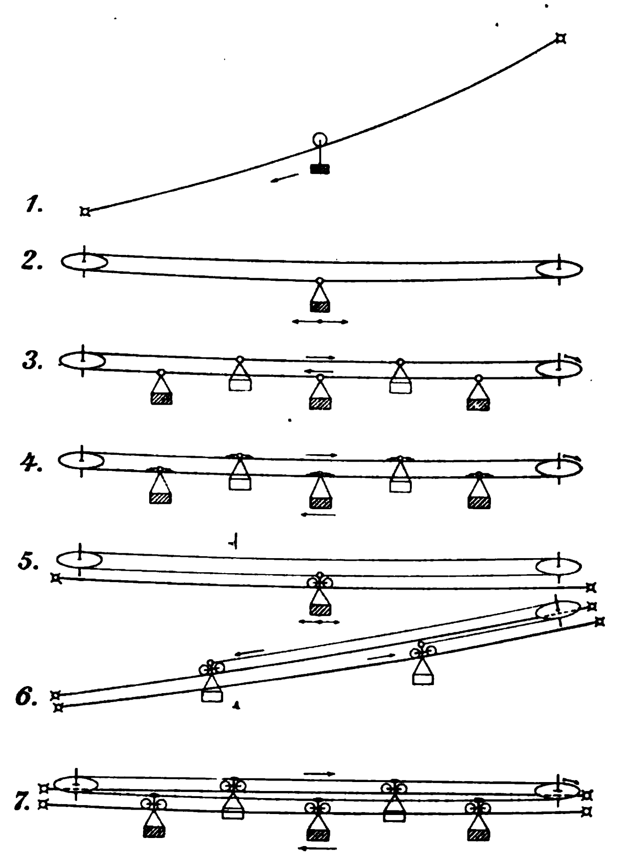


Abb. 72. Schwebende Seilbahnen.

2. Eingleisige Seilriesen haben als Laufbahn ein Drahtseil von 15 bis 40 mm Durchmesser, gewöhnlich aus Drähten von $k_z = 6000$ bis 15000 kg/qcm Zugfestigkeit gewunden. In der oberen Station wird dasselbe verankert, unten durch eine Winde oder selbsttätige Spannvorrichtung bis $1/_5\, k_z$ gespannt. Die Wagen werden an ein Litzenzugseil mit Bremsvorrichtung befestigt, das auf eine Trommel aufgewickelt oder in sich selbst geschlossen ist. In letzterem Falle erhält es unten eine selbsttätige Spannvorrichtung. Die Geschwindigkeit der beladenen Wagen beträgt 4 bis 6 m/sek.; die leeren Wagen werden einzeln oder in größerer Zahl wieder hochgezogen.

Zur Geschwindigkeitsregelung befand sich bei einzelnen Holzförderanlagen auf der oberen Station eine senkrechte Walze, über welche ein leichtes Drahtseil lief. Letzteres war mit dem einen Ende am talwärts fahrenden Baumstamm, mit dem

andern an den bergwärts zu fördernden leeren Rollen, welche auf einem dünnen Seile liefen, befestigt. Zwei Windflügel hingen anfänglich lotrecht an der Walze, öffneten sich aber bei der Bewegung und regelten den Gang. Überdies war an der Walze ein Bremshebel vorgesehen.

Um eingleisigen Riesen größere Leistungsfähigkeit zu verleihen, hat König bei einer 2100 m langen Anlage zur Ausbeutung des Finsterwaldes im kleinen Schlierental (Kt. Unterwalden, Schweiz) eine Wechselstation eingerichtet[32]. Auf dieser Mittelstation hält die Last an, Arbeiter setzen die von unten kommenden Rollen oberhalb der zu Tal fahrenden Last wieder auf das Seil und lassen dann den Zug seinen Weg fortsetzen.

Das Spiel an der Mittelstation wird dadurch selbsttätig eingerichtet, daß über dem Gleisseil S (Abb. 73) ein gleichlaufendes Seilstück s, länger als die längste Förderlast, eingelegt und mit Weichenzungen a und a' versehen ist. Die Zunge a' wird durch Gegengewicht oder Feder vom Hauptgleis abgehalten, so daß die leeren Rollen vorbeigehen und a heben können.

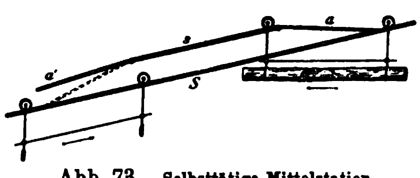


Abb. 73. Selbsttätige Mittelstation.

Statt durch Einschalten einer Wechselstation kann die Leistungsfähigkeit erhöht werden durch

b) Doppelgleisige Riesen.

Diese haben abwechselnden Betrieb mit zwei gleich starken, parallelen Laufbahnen und zwei Wagen. Das in sich geschlossene, oben gebremste und unten gespannte Zugseil bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von $v = 4$ bis 6 m/sek. Die durchschnittliche Last beträgt 600 kg, bei Holzförderung in Doppelgehängen bis zu 2000 kg. Die Spannweiten erreichen 500 m und mehr.

Bezeichnet: F die Wagenlast,
L die Länge der Bahn,

so ist die Leistungsfähigkeit der Riese:

$$C = \frac{0,9\,(3600\,Fv)}{L}\ \text{kg/Std.},$$

welche bei größerer Bahnlänge durch Einschalten von Zwischenstationen vermehrt werden kann. Schon bei einem Gefäll von 8 v. H. können solche Bahnen eingerichtet werden.

In der Schweiz und in Tirol sind die Riesen zu Hause. Im Jahre 1901 bestanden im schweizerischen Kanton Tessin allein 140 Riesen mit einer Gesamtlänge von 138 km, auf denen Lasten von 1 bis 2 t bei einem Mindestgefälle von 6 bis 7 v. H. befördert wurden[33].

Der einfachste Transport ist derjenige mittels einer kleinen Holzgabel (cadola), welche auf der Laufbahn reitet und an deren längerem Arm die Last mittels einer Hanfschnur angebunden ist. Die Gabeln werden am Ausgangspunkte selbst geschnitten und müssen nicht mehr zurückbefördert werden. Die Gabeln aus grünem Holz sind für Gefälle von 25 bis 250 v. H. anwendbar, diejenigen aus trockenem Holz für solche von 15 bis 25 v. H.

Schwerere Lasten werden an eisernen Haken (rampini) befestigt, auf kleinen

[32]) Handb. f. Spez. Eisenbahn-Technik, V. Bd., S. 546.

[33]) 3° Annuario (1899—1901) della Società degli Ingegneri ed Architetti nel Cantone Ticino, p. 68 etc.

Steigungen von 7 bis 15 v. H. dagegen an Gußeisenrollen. Bei großer Wärme und nach Regen wird die Laufbahn dadurch geschmiert, daß an einem nicht zu sehr beladenen Laufwerk ein fettgetränkter Lappen befestigt wird.

Die Anschaffungskosten der Anlage betragen etwa 70 v. H., das Aufstellen derselben 30 v. H.; die Gesamtkosten für das Meter 40 bis 48 Pfennige.

In der Schweiz ist eine Art beweglicher, fahrbarer Seilbahn für Militärzwecke studiert worden, deren Laufbahn aus einzelnen, leicht kuppelbaren Stücken besteht. Die Fahrseile haben 40000 kg Bruchfestigkeit. Im Gebirgskrieg erleichtern diese riesenartigen Bahnen den sonst sehr schwierigen Kriegsmaterial- und Lebensmitteltransport über Felshänge bedeutend.

B. Seilbahnen mit ununterbrochenem Betrieb.

Diese Bahnen erhielten erst durch Bergrat Freiherrn Franz von Dücker (1861) und den Engländer Hodgson (1867) praktische Bedeutung. Nach ihnen unterscheiden wir zwischen deutscher und englischer Bauart. Bei beiden sind die Tragseile auf Unterstützungen von Holz oder Eisen gelagert, und zwar gewöhnlich ein Seil für die Hinfahrt, das andere für die Rückfahrt. Die deutsche Bauart, bei welcher die Laufseile fest in gußeisernen Schuhen liegen, erfordert ein besonderes, endloses Zugseil, während bei der englischen Bauart das in Rollen liegende Tragseil zugleich als Zugseil dient.

Englisch-amerikanische Bauart.

1. Ältere Ausführungen. Der erste Versuch von Hodgson fand in Richmond auf einer durch ein Pferd betriebenen Seilbahn statt, worauf die 4800 m lange Bahn in Bardon Hill (Leicestershire) zur Ausführung kam. Die zur Steinförderung dienenden hölzernen Wagen faßten 50 kg und waren mit den sattelbildenden Holzklötzen (355/65/98 mm), in deren Rinne sich das Seil klemmte, fest verbunden. Nachträglich angebrachte Blechwangen sollten das Ausspringen des Seiles verhindern. Die unbewegliche Verbindung von Wagen und Sattel ließ letzteren auf dem nach einer Seilkurve durchhängenden Gleis abwechselnd mit der vorderen und hinteren Kante aufsitzen, welcher Übelstand aber durch Anbringung eines Drehbolzens ziemlich beseitigt wurde. Da an Ausweichstellen und scharfen Krümmungen die Wagen das Seil verlassen und von Hand über diese Stellen geschoben werden müssen, so erhalten die Sättel seitliche Rollen zum Auflaufen auf Schienen (Abb. 74). Diese seitliche Rollenanordnung rief, beim Übergang von Seil auf Schiene oder umgekehrt, infolge der Schwerpunktsänderung um den Abstand der beiden Rinnen, bedeutende Schwankungen hervor. Durch beiderseitige Rollen[34]), welche ohne Rillen waren und auf zwei Winkeleisen aufliefen, deren einer Schenkel die seitliche Führung abgab, wurde dieser Übelstand behoben, dafür aber größere Widerstände erzeugt.

Abb. 74. Sattel mit einseitigen Rollen.

Hodgson's patentierter Kluppensattel ist ein durch eine Querversteifung, an welcher der Wagen hängt, verbundener Doppelsattel mit vier auf der gleichen Seite liegenden Rollen. Seitlich um Zapfen drehbare Kluppen fassen beim Anfahren das Seil.

[34]) Vgl. Handb. f. Spez. Eisenbahn-Technik, V. Bd., S. 557.

Der **federnde Sattel** von Carrington (Abb. 75) hat viereckige Gummikörper *c*, durch deren Drehen um 90° frische Sitzflächen erhalten werden. Damit sich das Seil in einspringenden Gefällsbrüchen nicht von den Tragrollen abhebe, brachte Hodgson[35]) **Seildrücker** zur Anwendung, eine Rollenanordnung, wie sie in verbesserter Art bei Kabelbahnen wieder auftritt. Die in Amerika ausgeführte **Hallidie'sche** oder **amerikanische Bauart** unterscheidet sich von der Hodgson'schen nur durch die **fest** mit dem Seile verbundenen Fördergefäße[36]). Die Unternehmung Broderick & Bascom rope Co., St. Louis, Mo., baut unter anderem auch Hallidie'sche Seilbahnen, deren Gefäße durch selbsttätige Lader, welche eine gewisse Strecke parallel mit den Wagen laufen, gefüllt werden.

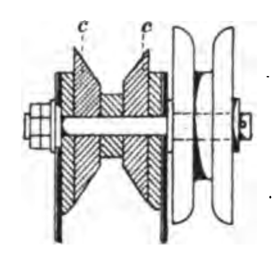
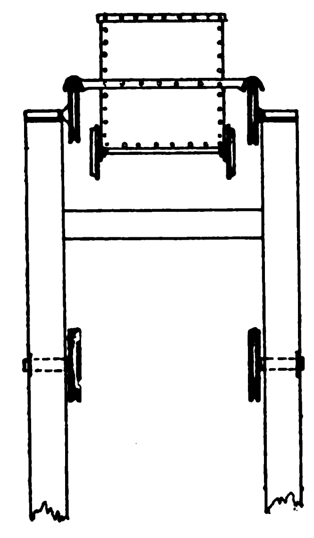
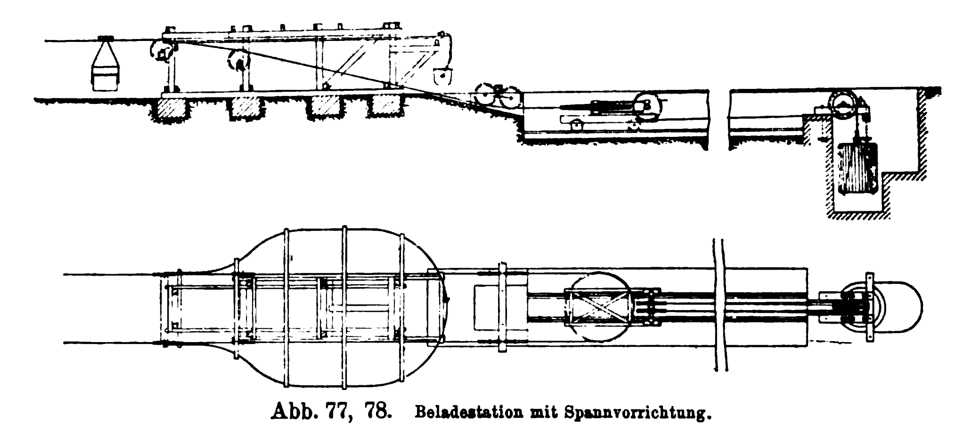


Abb. 75. Federnder Sattel von Carrington.


Abb. 76. Stütze zum Müller'schen Seiltrajekt mit Wagen.

Unter die schwebenden Seilbahnen englischer Bauart ist auch das **Seiltrajekt** von **Hermann Müller**[37]) (Abb. 76) zu rechnen. Bei demselben wurden gewöhnliche Rollwagen mit Klauen auf zwei endlose Seile gesetzt; sie durchfuhren das für gewöhnliche Gleise ungünstige Stück und setzten an passender Stelle den Weg auf Schienen weiter fort. Die beladenen Wagen fuhren unten, die entleerten oben. Die Versuchsstrecke der **Sigl**'schen Fabrik in Wien, auf welcher 20 mm starke Treibseile stündlich 60 Wagen mit 300 bis 400 kg Last hin- und zurückförderten, war die einzige Ausführung. Die größten Schwierigkeiten erwuchsen daraus, daß die Wagen infolge ungleicher Schwingungen der beiden Seile arg geschleudert wurden.

2. **Neuere Ausführungen.** Ein Seil ohne Ende, mit einer Antriebscheibe von 1,5 bis 3 m Durchmesser, wird durch irgend eine Kraft, Dampf, Wasser, Elektrizität (oder bei kleinen Ausführungen selbst Pferdekraft) in fort-


Abb. 77, 78. Beladestation mit Spannvorrichtung.

35) Vgl. Handb. f. Spez. Eisenbahn-Technik, V. Bd., S. 561.

36) Fest mit dem Seil verbundene Fördergefäße hatte schon die Danziger Seilbahn vom Jahre 1644.

37) Vgl. Handb. f. Spez. Eisenbahn-Technik, V. Bd., S. 572.

laufende Bewegung gesetzt, während auf der anderen Station die mit einem geführten Schlitten versehene Achse der Umkehrscheibe eine selbsttätige Gewichtsspannvorrichtung

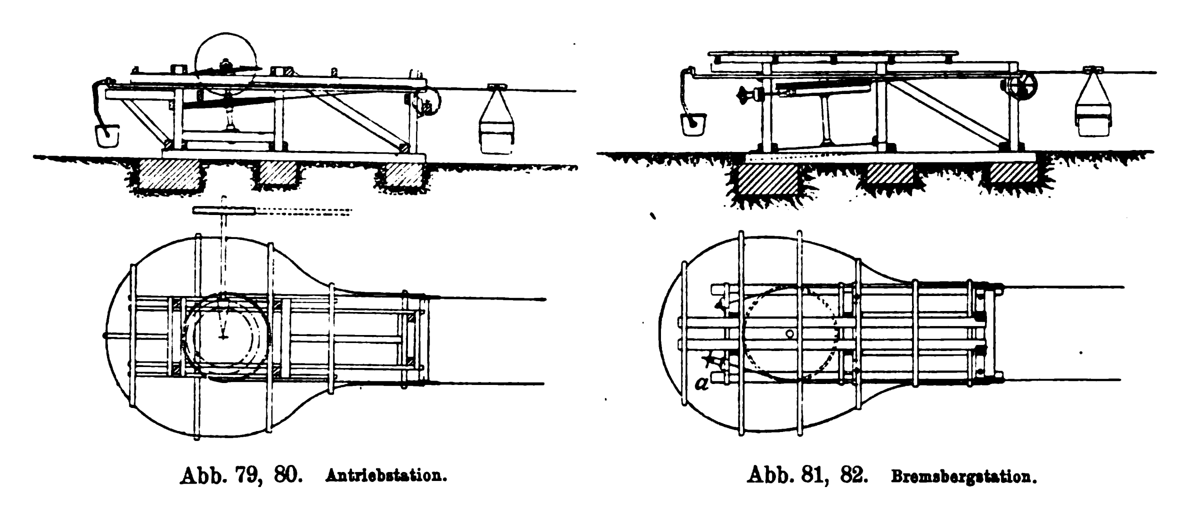


Abb. 79, 80. Antriebstation. Abb. 81, 82. Bremsbergstation.

trägt. Passende Rollen tragen das Seil an Zwischenunterstützungen. Abb. 77 und 78 zeigen eine Beladestation mit Spannvorrichtung, Abb. 79 und 80 die zugehörige Antriebstation. In Abb. 81 und 82 ist eine Bremsstation für Bremsbergförderung dargestellt, deren Bandbremse mittels des Handrades a angezogen wird. Alle drei Stationen sind Ausführungen der „Ropeways Limited“ in London.

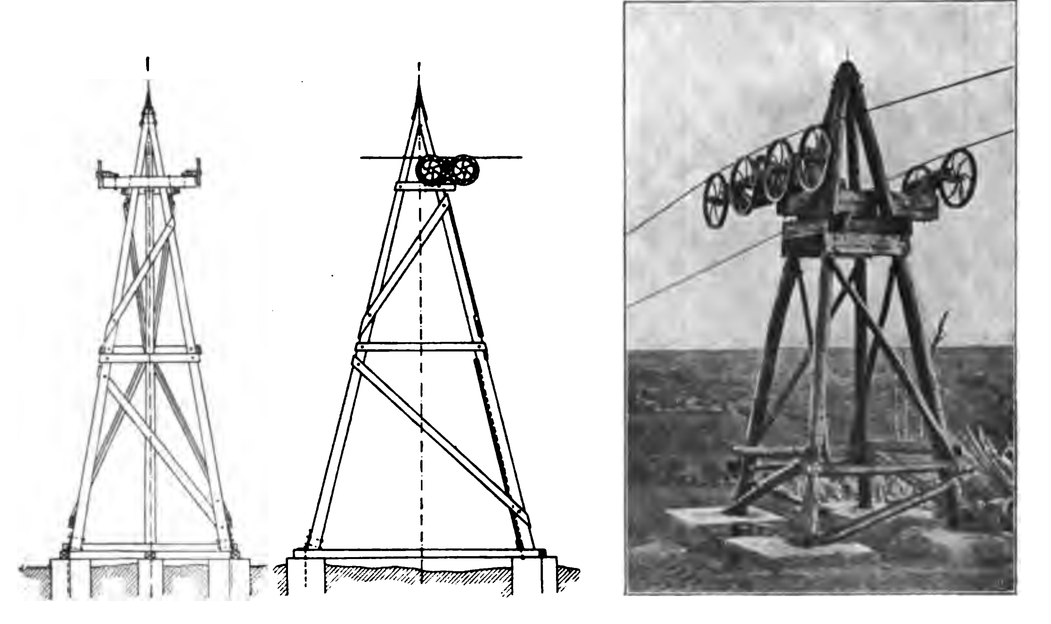


Abb. 83. Seilstütze aus Holz. Abb. 84. Seilstütze aus Holz.

Die Unterstützungen mit Tragrollen werden je nach Gelände und Bahnanlage in Holz oder Eisen ausgeführt. Abb. 83 gibt eine dreibeinige, hölzerne Unterstützung, Abb. 84 eine vierbeinige. Letztere, von „Ropeways Limited“, hat vier

Rollen für das beladene, zwei Rollen für das leere Seiltrum, wobei je zwei auf einem Arme sitzen, der an einem dritten Arm drehbar befestigt ist, so daß das bewegliche Ganze (Tandemseilscheiben) allen Seildrücken bequem nachgeben kann. Abb. 85 veranschaulicht eine zweibeinige eiserne Stütze mit Windstrebe, ausgeführt von der früheren Seilbahn-A.-G. Mannheim. Je nach der Förderlast werden mehr oder weniger Rollen in geeigneter Zusammenstellung verwendet und deren Rillen den Sattelvorrichtungen entsprechend geformt, um ein Abgleiten des Seiles zu verhindern (vgl. Abb. 88, Ziff. 11, S. 153). Die Wagen werden durch Sattelvorrichtungen, deren Innenfläche ein Gleiten verhütet, an das Seil gekuppelt und können dasselbe erst wieder verlassen, wenn sie mechanisch abgehoben werden. Bullivant & Co. Ltd., London, versehen ihre $\wedge$-förmigen Sättel mit Holz-, Kautschuk- oder Kompositionsfutter, um die notwendige Reibung zum Überwinden von Steigungen bis 1 : 3 zu erhalten. Die Sättel haben seitliche Lappen, unter welche die Ränder der Seiltragrollen fassen. Die Satteltäger sind aus schmiedbarem Guß hergestellt.

Zwei kleine Rollen dienen zum Verschieben der Hängewagen in den Stationen. Die Hängeschienen sind in solcher Lage, daß, wenn sich das Laufwerk der Endstation nähert, die kleinen Rollen dem Wagen gestatten mit Hilfe der lebendigen Kraft eine kleine schiefe Ebene hinaufzufahren und sich so vom Seil zu lösen. Die Seilgeschwindigkeit beträgt etwa 1,8 m/sek.

Abb. 86 gibt das Bild eines englischen Laufwerkes, Patent Roe (D. R. P. Nr. 48524), Abb. 87 dasselbe Laufwerk mit abgehobenen Sätteln auf einer Hängeschiene. Die auf dem Seil sitzenden Sättel werden bei diesen Ausführungen durch





Abb. 85. Seilstütze aus Eisen.



Abb. 86, 87. Englische Laufwerke.

kleine Ansätze ihrer Innenflächen, welche in die Seilvertiefungen eingreifen, fortgetragen. Die Endansicht des Laufwerkes, teilweise im Schnitt, ist in Abb. 88 dargestellt und es bezeichnet dabei: *1* das rohrförmige Gestell mit Lager *2* und Laufrolle *3*. Im Lager *4*, welches sich in der Mitte zwischen beiden Laufrädern befindet, wird der Hängarm des Fördergefäßes aufgenommen. *5* ist einer der Blöcke, dessen Verlängerung *6* durch eine Öffnung im Gestell hindurchgeht. Die Blöcke können auch mit kurzen Lappen am Gestell befestigt werden, wobei sie sich um Zapfen

drehen, während Ansätze am Gestell den Ausschlag begrenzen. Die Nut *7* hat entweder angegossene Vorsprünge, welche in die Seilvertiefungen passen, oder Lederfutter *8*. *9* ist das Trag- und Zugseil; der Stift *10* verhindert ein Abfallen des Blockes beim Auffahren auf eine Hängeschiene; *11* ist der Rollenrand. Der Sattelquerschnitt (Abb. 89) gibt die Form der Ansätze *a a*, welche auch schraubengangartig

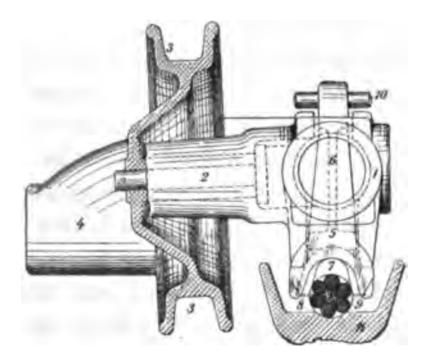



Abb. 88. Englisches Laufwerk.

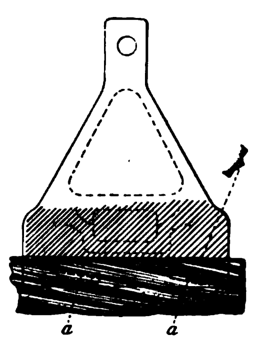


Abb. 89. Sattelquerschnitt.

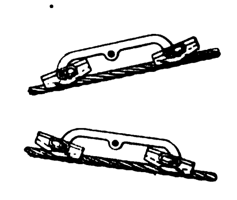


Abb. 90. Kippsattel von Roe.

gestaltet sein können und das Seil durch Keilwirkung zusammenpressen. Damit die Vorrichtung auf Steigung und Gefäll gleich sicher wirkt, erhalten die beiden Sättel entgegengesetzt gerichtete Vorsprünge, wodurch immer einer derselben in Tätigkeit ist.

Ein anderes Patent von Roe[38]) sieht kippbare, je nach dem Gefällswechsel das Seil fassende Sättel nach Abb. 90 vor.

Selbst bei geschmierten Seilen wirken die Roe'schen Sättel noch sicher, was erlaubt, das Seil zur Erhöhung seiner Lebensdauer einzufetten.

Der Universal-Seilklemmapparat von Otto Neitsch in Halle a. S. kann das Seil beliebig festklemmen und ist deshalb von Steigungen vollkommen unabhängig. Seilführungs- und Tragrollen können durch den oben und unten entsprechend geformten Klemmkörper anstoßfrei befahren werden. An der ovalen Traverse *T* sind die für die Hängschienen bestimmten Laufräder *a a*, die Nabe *c* zur Aufnahme des Drehzapfens für den Hängbügel *d* des Fördergefäßes und die feste Klemmbacke *e*. Mittels Druckschraubenspindel *i* mit Zahnrad *k* wird die um den Bolzen *g* schwingende lose Klemmbacke *f* betätigt. Das Zahnrad wird durch die unter Abb. 133 beschriebene Anschlagvorrichtung selbsttätig eingestellt. Die Klemmbacken *e* und *f* sind oben und unten den Seiltragrollen *M* und den Seilführungsrollen *Z* entsprechend geformt.

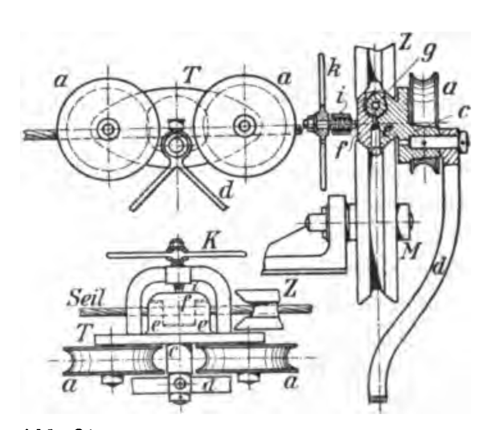


Abb. 91. Universal-Seilklemmapparat von O. Neitsch.

Nach Mitteilungen der Ropeways Limited in London, sind Seilbahnen englischer Bauart seit zwölf Jahren ununterbrochen in Tätigkeit ohne Seilerneuerung

38) Engineering, Jahrg. 1894.

oder Ersatz. In einigen Fällen beträgt die Seilabnutzung pro t/km nur 0,4 Pfg., während Abnutzung und Ersatz aller andern Teile nur 0,2 Pfg. beträgt.

Die Leistungen betragen 2 bis 70 t/Std. und mehr, die Ladungen bis zu 500 kg. Die Spannweiten können 180 bis 600 m betragen, die Steigungen bis zu 50 v. H. (1 : 2).

Die englische Bauart fand in den Minendistrikten von Somorostro bei Bilbao ihre größte Anwendung und kommen dort verschiedentlich zwei Bahnen übereinander und drei nebeneinander auf denselben Gerüsten, bezw. Seilstützen vor.

Abb. 92 bringt eine amerikanische, zum Holztransport bestimmte Seilbahn zur Veranschaulichung[39]. Die Unterstützungen bestehen aus kleinen T-Trägern, welche mittels zweier Haken *h* und dem Bolzen *b* an stehengelassenen Baumstämmen befestigt werden. Zwei Gehänge *d* mit je zwei Rollen *a* und einem Seilblock *c* zum Aufziehen tragen die Stämme. Das endlose Zugseil ruht in den Rollen *e* und *f*, während Flacheisenbänder *g* das Tragseil halten.

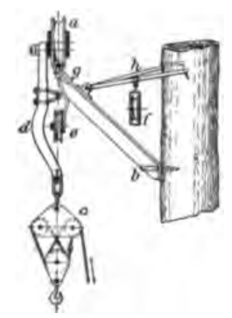


Abb. 92.
Amerikanische Seilbahn.

§ 9. Schwebende Seilbahnen. Seilbahnen mit ununterbrochenem Betrieb deutscher Bauart (Bleichert und Otto). — Obwohl in Deutschland verschiedene Seilbahnen nach englischer Bauart erstellt wurden, entwickelte sich aus den Draht- und Seilriesen doch eine eigene Bauart, bei welcher in vorteilhafter Weise gesonderte Trag- und Zugseile angeordnet sind.

Ingenieur v. Dücker verwendete als Laufwerk zwei mit Gehängen versehene, durch ein deichselähnliches Holz verbundene Rollen; ein leicht zu lösender Dorn stellte die Verbindung mit dem Zugseil her. Auch schwebende Bahnen für Personenbeförderung, sowie Doppelgleisseilbahnen, an denen die Förderwagen unmittelbar von den Schienen weg aufgehängt werden sollten (ähnlich wie beim Müller'schen Seiltrajekt) hat er vorgeschlagen[40].

Den Anfang zu den eigentlichen Seilbahnen deutscher Bauart machte 1874 die Halle-Leipziger Eisengießerei- und Maschinenbau-Gesellschaft zu Schkeuditz (Oberingenieur A. Bleichert, Betriebsingenieur Otto) mit der 750 m langen Drahtseilbahn für die Grube Hölle im Teuschental bei Halle a/S. Die mit Jahresbetrieb arbeitende Bahn förderte täglich 150 t Braunkohlen bei einer Steigung von 1 : 27. Last- und Leergleis bestanden aus Rundeisen von 30 bzw. 26 mm Durchmesser. Das 10 mm starke Zugseil wurde in Längen von 37,5 m durch Haken gekuppelt und an diesen die Wagen angehängt.

Gleise. Zwischen den einzelnen Stationen der Bahnlinie sind zwei Drahtseile (früher auch Rundeisen) als Laufbahn für die Wagen gleichlaufend und in gleicher Höhe auf Unterstützungen aus Holz oder Eisen gespannt. Rundeisengleise eignen sich nur für geringe Belastung und wenig geneigte Strecken. Sie werden an Ort und Stelle bis zu 50 m Länge zusammengeschweißt und die einzelnen Teile durch Kuppelungen verbunden. Für Neuausführungen kommen nur noch Drahtseile in Betracht.

Damit die Wagen freien Durchgang haben, sind die beiden Gleise in einer Entfernung von 1,5 bis 3 m gelagert; der eine Strang dient den beladenen, der andere den leeren Wagen. Der Tragseildurchmesser ist den vorkommenden Spannungen —

[39]) Vgl. Engineering 1894. II. S. 341.
[40]) Vgl. Handb. f. Spez. Eisenbahn-Technik, V. Bd., S. 549 und 550.

welche von der Entfernung der Stützpunkte und der zu fördernden Last abhängen — entsprechend zu bestimmen. Für beladene Wagen beträgt derselbe 20 bis 40 mm, für leere etwa 15 bis 30 mm. Die Unternehmung Felten und Guilleaume in Mühlheim a. Rh. verwendet:

1. Spiralseile, 19- oder 37-drähtig aus Stahldraht ihrer weichen, besten Art mit 55 bis 60 kg/qmm Bruchfestigkeit, sodann ebensolche aus bestem Patent-Gußstahldraht bis zu 145 kg/qmm Bruchfestigkeit;

2. Tragseile „patent-verschlossener Konstruktion" aus Stahldraht von 55 bis 60 kg/qmm Bruchfestigkeit, Gußstahldraht von 90 bis 100 kg/qmm Festigkeit.

Lauf- und Zugseil sollen in einer senkrechten Ebene übereinander liegen. An einem Ende werden die Tragseile fest verankert, am anderen Ende tragen sie Spanngewichte.

Simplexseil[41]). Bei den gebräuchlichen Tragseilen besteht ein großer Übelstand darin, daß Drähte im Seilinnern brechen, ohne daß diese Brüche von außen bemerkt werden. Wird angenommen — was zwar kaum ausführbar ist —, daß die inneren und äußeren Drähte von Anfang an gleich beansprucht sind, so strecken sich durch das fortwährende Darüberfahren der Wagen die äußeren Drähte (Kaltauswalzen), worauf den Kerndrähten allein die Aufgabe zufällt, das Spanngewicht, für welches sie zu schwach sind, zu tragen. Das Simplexseil dagegen hat nur eine einzige Lage von Drähten (Abb. 93 und 94), jeder derselben befindet sich in gleicher Lage, wird in gleichem Maße auf Biegung, Zug, Drehung und Streckung beansprucht und ist der Untersuchung von außen gut zugänglich. Bisweilen erhält das Simplexseil eine Seele aus Runddrähten. Dadurch, daß das Seil aus verschlossenen Formdrähten besteht, somit glatte Oberfläche hat, vereinigt es alle Vorteile des Seiles verschlossener Anordnung, ohne dessen Nachteile zu besitzen.

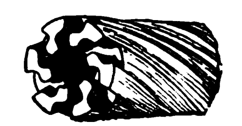


Abb. 93. „Simplexseil".

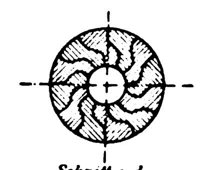


Abb. 94.
Schnitt nach Abb. 93.

Abb. 95 zeigt ein verschlossenes Seil englischer (bzw. französischer) Bauart, von W. B. Brown (Bankhall) Liverpool, das sich von den anderen verschlossenen Seilen nur durch die Form der Deckdrähte unterscheidet. Im Innern können auch Formdrähte verwendet werden.

Für die Tragseilschmierung verwendet die Unternehmung A. Bleichert & Co., A.-G., für kürzere Strecken ein Laufwerk mit hochgelegenem Ölbehälter und Regulierhahn, aus welchem das Öl tropfenweise auf das Seil gelangt; für größere Strecken einen Schmierapparat mit einer vom Wagenlaufwerk betriebenen Ölpumpe und großem, für einmalige Schmierung der Strecke ausreichendem Ölbehälter. Der Apparat hat den Vorzug, daß die Ölmenge genau dem zurückgelegten Wagenweg entspricht und die Schmierung unterbrochen wird, sobald der Wagen stillsteht.



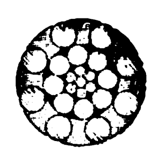


Abb. 95. Verschlossenes Seil englischer Bauart.

[41]) D. R. G. M. Nr. 33714.

Kuppelung des Laufseiles. Die Verbindung der in Längen von 150 bis 500 m hergestellten „Simplexseile“ ist äußerst einfach und wird dadurch erreicht (Abb. 96), daß durch Einschrauben eines kegelförmigen Gewindedornes die Drähte gegen die Muffenwand gedrückt, und so der kegelförmige Teil der Muffenhälfte ausgefüllt wird. Die entstehenden Lücken zwischen den Drähten werden mit einem Metallgemisch (Komposition) ausgegossen (Abb. 97).

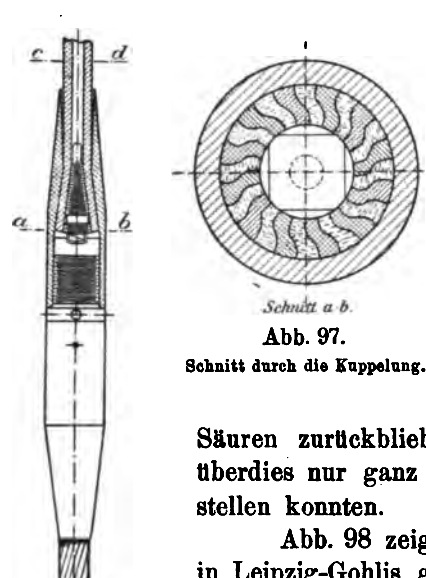


Abb. 96. Kuppelung des Simplexseiles.

Abb. 97. Schnitt durch die Kuppelung.

Da die Drähte der gewöhnlichen Laufseile nicht gelötet werden dürfen, erhalten die einzelnen Seilstücke nur Längen von 150 bis 500 m, welche ebenfalls durch leicht befahrbare Zwischenkuppelungen verbunden werden. Die früher häufig ausgeführte Kuppelung durch Verlötung wurde ganz verlassen, weil oft kleinere Mengen der notwendigen Säuren zurückblieben und zu Rostbildung Veranlassung gaben, überdies nur ganz geübte Arbeiter die schwierige Verbindung herstellen konnten.

Abb. 98 zeigt eine der Unternehmung Adolf Bleichert & Co. in Leipzig-Gohlis geschützte Verbindung (D. R. P. Nr. 41588) für ein 26 mm starkes, gewundenes Tragseil; Abb. 99 eine entsprechende für ein 35 mm Seil verschlossener Anordnung. Bei beiden Kuppelungen sind zwei kegelförmige Stahlhülsen durch ein mit Rechts- und Linksgewinde versehenes Mittelstück verbunden. Drahtumwicklung und eingetriebene kegelförmige Hülsen (Ringkeile) verdicken das Seilende und verhindern dessen Durchrutschen. Die geteilten Ringe werden durch flache Zwischen-

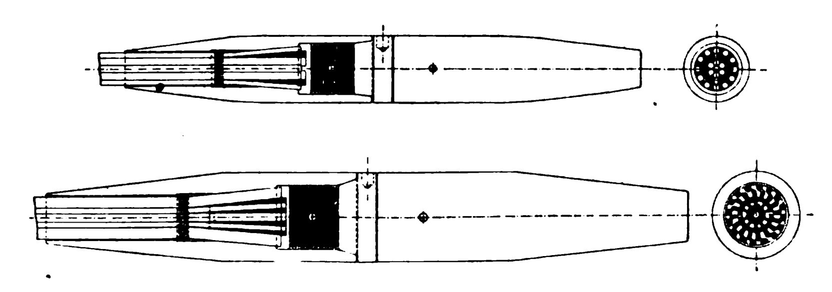


Abb. 98, 99. Seilkuppelung.

lagen gegen Drehen gesichert. Abb. 100 zeigt eine Endkuppelung zur Verankerung des Laufseiles, Abb. 101 eine solche zur Aufnahme des Spanngewichtes. George Elliot & Co. stellen beide letztgenannten Kuppelungen in einer ihnen geschützten Art her.

Mittlere Spannvorrichtung. Beträgt die Entfernung zweier Stationen mehr als $1^1/_2$ bis 2 km, so werden auf der freien Strecke Spannvorrichtungen besonderer Art errichtet. Dieselben bewirken eine gleichmäßige Spannung der Tragseile, ungeachtet der wechselnden Durchbiegungen durch Belastungs- und Wärmeänderungen. Abb. 102 bis 105 zeigen derartige Anordnungen von Adolf Bleichert & Co. Die eintretenden Unterbrechungen der Laufseile sind durch Flacheisen, welche sich mittels

schlanker Zungen anschließen, ausgefüllt. In der Zwischenstation werden alle vier Tragseile verankert. Die Größe des Spanngewichts hängt von der dem Laufseil zu gebenden Spannung, von der Zahl der Unterstützungen des betreffenden Seilstückes und von der Größe der vorhandenen Steigung ab. Ceretti & Tanfani in Mailand verwenden statt der hölzernen oder eisernen Spanngewichtskasten Betonblöcke, die dann, statt an Ketten, an biegsamen Stahlseilen hängen.

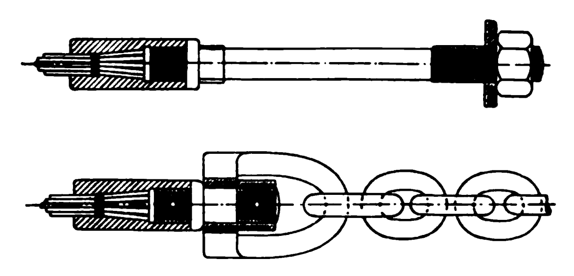


Abb. 100, 101. Endkuppelungen.



Krümmungen. Werden beim Bleichert'schen Kuppelungsapparat „Automat“ die Klemmbacken über dem Laufwerk liegend angeordnet, so ermöglicht derselbe das Durchfahren von beliebigen Krümmungen, ohne Loslösen der Wagen vom Zug-

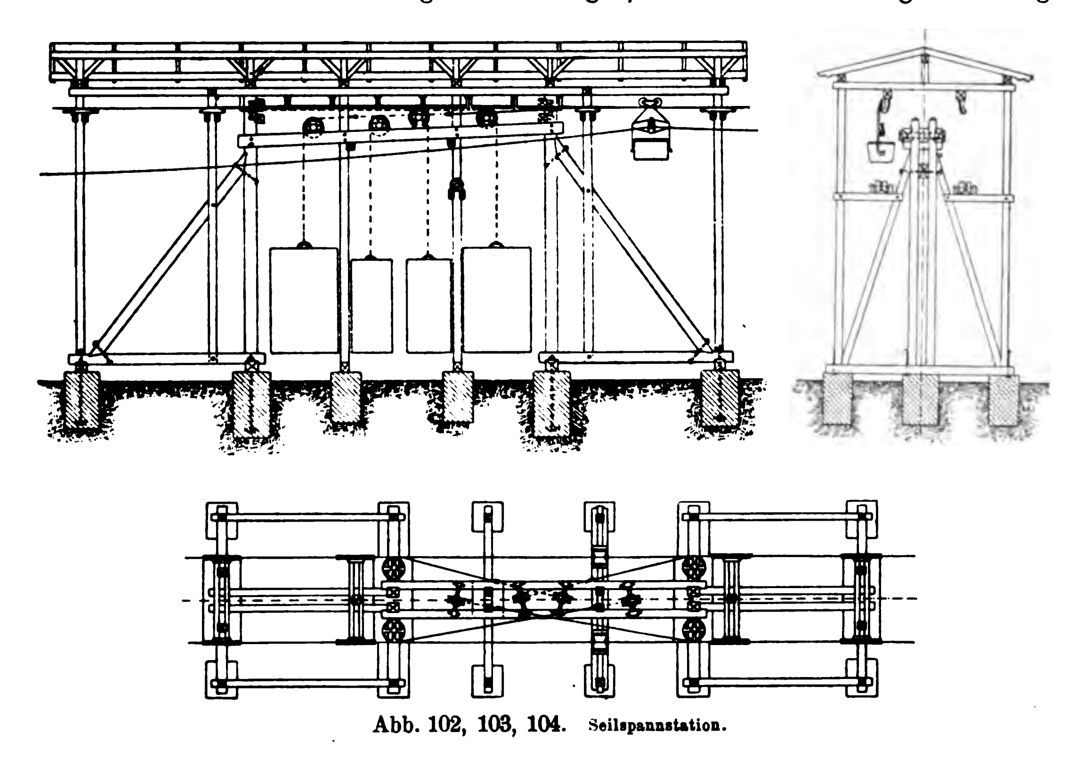


Abb. 102, 103, 104. Seilspannstation.

seil. Dies hat zur Ausführung der sogenannten Kurvenstationen geführt, mit Hilfe deren bei gebrochenen Bahnlinien die Wagen selbsttätig, ohne Unterbrechung des Zugseilbetriebes, am Bruchpunkte von dem einen Zweig der Bahn auf den anderen übergehen können. Früher mußte am Bruchpunkt eine Winkelstation aufgestellt werden, in der die Wagen beim Einlauf vom Zugseil losgekuppelt, von Hand auf Hängebahnschienen bis zum anderen Ende der Station geschoben und hier wieder angekuppelt wurden. Solche Winkelstationen mit unterbrochenem Zugseilbetrieb kommen jetzt nur noch als Zwischenstationen bei sehr langen Bahnen, welche eine Teilung in mehrere einzelne Strecken erforderlich machen, in Anwendung. Bei den jetzt

fast ausschließlich gebauten, selbsttätigen Kurvenstationen wird in der Krümmung, deren Halbmesser der Geschwindigkeit der Wagen entsprechend gewählt ist, eine Reihe wagrecht liegender Seilscheiben dicht nebeneinander angeordnet, um welche das Zugseil geführt wird. Beim Durchlaufen der Kurvenstation heben die Wagen das Zugseil von den wagrecht liegenden Rollen ab und gleiten mit dem Rücken der Klemmbacken an dem Rand der Scheiben entlang. Die Wagen laufen dabei auf Hängebahnschienen, während die Tragseile mittels eiserner Führungsschienen abgelenkt oder durch Gewichte (Spannstation) gespannt werden.



Abb. 105. Seilspannstation.

Eine andere Lösung der Krümmungsdurchfahrung ist die, daß eine Führungsschiene den Seitendruck des mit besonderen Führungsrollen versehenen Wagenhalters aufnimmt (Bauart J. Pohlig, Köln).

Weichen ermöglichen das Verschieben der Wagen vom Laufseile nach der Belade- oder Entladestelle, bzw. nach dem anderen Laufseil. Dieselben bestehen aus zugespitzten Flacheisen (Zungen von etwa 1 m Länge), welche sich an die Laufseile derart anlegen, daß ein Übergang der Wagen ohne weiteres stattfinden kann. An die Zungen schließt sich eine aus Flacheisen hergestellte Hängebahn an, auf welcher die Wagen aufgestellt, bzw. weiter befördert werden. Besondere Weichen kommen vor, wenn die Wagen auf Nebengleise gestellt werden müssen.

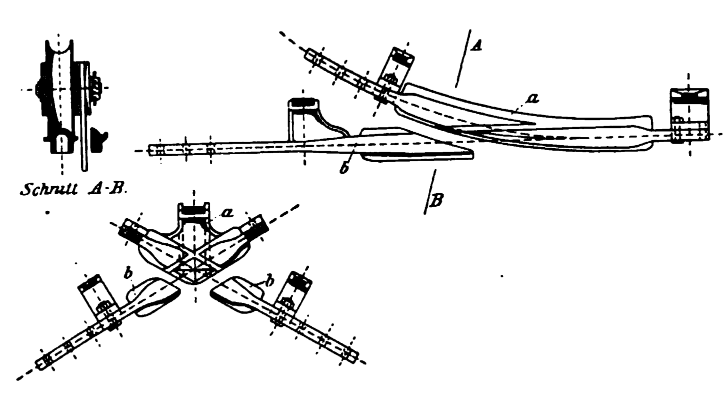


Abb. 106, 107. Weiche von Pohlig.

Abb. 106 und 107 zeigen Weichen nach J. Pohligs Bauart (D. R. P. Nr. 76550). Dieselben können an jeder beliebigen Stelle in gebogenen oder geraden Strängen der Hängebahn zum Anschluß oder zur Durchkreuzung gebraucht werden. Sie bestehen aus dem geraden, bzw. gebogenen Herzstück *a* und dem gebogenen, bzw. geraden Anschlußstück *b*. Durch einfaches Drücken des Hängebahnwagens nach rechts oder nach links ist der Arbeiter imstande, ohne Weichenstellung, somit ohne Aufenthalt, den Wagen auf bestimmte Hängebahnstränge zu fahren. Als Vorteile dieser Weiche sind zu nennen: Wegfall des Verstellens, somit Zeitersparnis; Unmöglichkeit des

Herabfallens von Wagen infolge falscher Weichenstellung; stoßfreies, leichtes Befahren.

Abb. 108 zeigt eine einfache Weiche (Klappweiche) von A. Bleichert & Co. A.-G.

Die in Abb. 109 dargestellte Weiche der gleichen Unternehmung (D. R. P. Nr. 86259) schließt nicht nur, wenn der Wagen in ihrer Richtung fährt, sondern auch dann, wenn er gegen dieselbe herankommt. Die Bahn kann betriebsmäßig in zwei Richtungen befahren werden, und ein Herunterstürzen von Wagen in der offenen Weiche ist ausgeschlossen. Die Wagen stellen die Weiche selbsttätig.

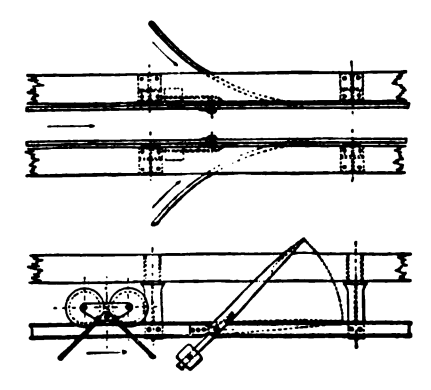


Abb. 108. Klappweiche von Bleichert.

Eine andere Weiche von Bleichert & Co. öffnet und schließt sich seitlich. Das Schließen erfolgt durch Eigengewicht, Gegengewicht oder Federkraft. Die Weiche kann sowohl als Zungenweiche, wie auch als Vollweiche ausgebildet und mit einer Vorrichtung verbunden werden, welche sie in geöffnetem Zustande festhält.

Zugseil. Zum Fortbewegen der Wagen dient ein endloses, über oder unter dem Tragseil befindliches, dünndrähtiges (1 bis 2,5 mm) Litzenseil aus Tiegelgußstahl-

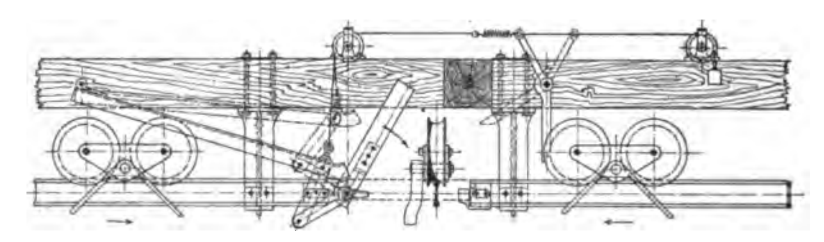


Abb. 109. Weiche von A. Bleichert & Co.

(Pflugstahl-)Draht von 120 bis 180 kg/qmm Bruchfestigkeit[42]) und 15 bis 23 mm Durchmesser. Auf den Stationen wird es um wagrechte Scheiben, deren eine den Antrieb bewirkt, geführt. Um genügende Reibung zum Mitnehmen des Zugseiles zu erhalten, ist die Antriebscheibe oft zwei- und mehrrillig und hat dann eine ihr entsprechende Leitscheibe. Die Seilscheibe auf der anderen Station dient als Umführungs- und Spannscheibe. Ihre Achse ist in einem Schlitten gelagert, während ein an einer Kette hängendes Gewicht die gleichmäßige Spannung erhält.

Zugseiltragrollen. Während des Betriebes wird das Seil auf der Strecke von den Wagenkuppelungsvorrichtungen getragen; sind aber keine Wagen unterwegs, so liegt es auf Tragrollen, welche an den Unterstützungen so tief angebracht sind,

---

[42]) Felten & Guilleaume in Mülheim a. R. verwenden folgende Anordnungen:

6 Litzen zu 4 Drähten und 1 Hanfseele,
6 „ „ 5 „ „ 7 Hanfseelen,
6 „ „ 7 „ „ 1 Hanfseele,
7 „ „ 7 „ „ 1 „
6 „ „ 12 „ „ 1 „

daß die Wagen bequem darüber hinweggehen. Abb. 110 zeigt eine solche Rolle. Andere Formen sind in den Abbildungen der Unterstützungen ersichtlich.

Bei Längen über 5 km werden in der Regel Zwischenstationen eingeschaltet, an denen der Zugseilbetrieb unterbrochen wird, doch kann eine Maschine auch zwei Strecken antreiben. Bei annähernd ebenem Gelände läßt sich eine Drahtseilbahn ohne Unterbrechung auf 8 bis 10 km Länge ausführen.

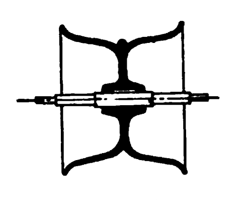


Abb. 110. Zugseiltragrolle.

Unterstützungen. Die zum Tragen der Seile dienenden Unterstützungen sind in Entfernungen von 30 bis 90 m aufgestellt, ausgenommen beim Überschreiten von Flüssen und tiefen Tälern, wo Spannweiten bis zu 1250 m ausgeführt werden[43]). Dadurch, daß die Stützen verschiedene Höhen erhalten, gewöhnlich 6 bis 10 m, übertragen sich die Bodenunebenheiten nicht auf das Seil, sondern letzteres bildet eine gestreckte Wellenlinie. Die Lagerung des Seiles auf den Stützen muß eine solche sein, daß bei Brechpunkten kein Abheben eintreten kann und Knickungen vermieden werden. Die Höhe der Stützen bestimmt sich nach dem Laufseildurchhang und dem unter der Bahn stattfindenden Verkehr. Die hierbei nötige Entfernung der Wagenunterkante vom Erdboden sei h_1, die Entfernung derselben von Laufseilunterkante h_2, die Durchhangsgröße der Laufseile h_3; dann ist die erforderliche Höhe H der Stützen:

$$H = h_1 + h_2 + h_3,$$

wobei eine wagrechte Bodenfläche angenommen ist. h_3 bestimmt sich unter der Voraussetzung, daß die Seilkurve eine Parabel sei, nach folgenden Formeln[44]).

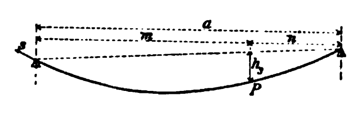


Abb. 111. Seildurchhang.

Bezeichnet (Abb. 111): h_3 den Seildurchhang in Metern, a die wagrechte Stützenentfernung in Metern, m und n die horizontalen Abstände des Punktes P von den beiden Stützpunkten in Metern; p das in P wirkende Gewicht in kg, s die Seilspannung in kg; g das Gewicht für 1 m Seil in kg; dann ist:

$$h_3 = \frac{m \cdot n \cdot p}{a \cdot s}.$$

Wirkt das Gewicht p in der Mitte, dann ist

$$h_3 = \frac{a}{4} \cdot \frac{p}{s}.$$

Bei unbelastetem Seil ist

$$p = \frac{a \cdot g}{2} \quad \text{und} \quad h_3 = \frac{m \cdot n \cdot g}{2s},$$

bzw. für die Spannungsmitte

$$h_3 = \frac{a^2 \cdot g}{8s}.$$

Dadurch kann die kleinste Entfernung der Stützpunkte des Laufseiles vom Erdboden usw. festgesetzt werden.

---

[43]) Pohlig's Anlage für Fco. Echeguren Hermana y Sobrinos, Matzatlan, Mexico, mit 1115 m Spannweite bei 110 t Leistung in zehn Stunden (Holzförderung). Ausführung von Ceretti & Tanfani für die Seilbahn bei Oulx am Mont Genèvre, zwei Spannungen von 1250 m, Förderwagengewicht 400 kg.

[44]) Vgl. Taschenbuch „Die Hütte", II. Teil, S. 637 (18. Auflage).

Die Unterstützungen werden bis zu 25 m Höhe aus Holz, oder bei bedeutender Höhe (40 m und darüber) und ungünstigen Bodenverhältnissen aus Eisen hergestellt. Abb. 112 zeigt eine einfache hölzerne Stütze für zweiseilige Bahnen. J. Pohlig in Köln (Nachfolger von Otto) führte für gewöhnliche Bodenverhältnisse und geringe Einzellasten zuerst die zweibeinigen Stützen ein, welche entweder eingegraben oder auf gemauerte Grundschichten gesetzt und bei größeren Höhen durch Zuganker und Streben versteift werden. Die Abb. 113 und 114 veranschaulichen eiserne Stützen der Unternehmung Adolf Bleichert & Co. A.-G. in Leipzig-Gohlis, ausgeführt auf der Seilbahn von Crookston Bros. in Bône (Algier). Die von der Unternehmung Ceretti & Taufani in Mailand für eine Seilbahn auf der Insel Elba ausgeführten gußeisernen Unterstützungen (Abb. 115) sind einzig in ihrer Art.

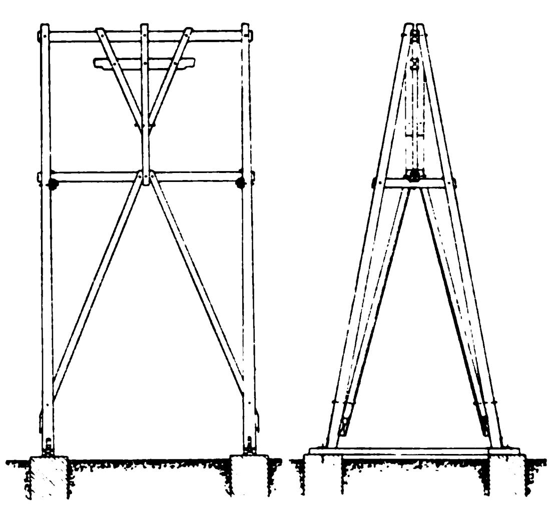


Abb. 112. Hölzerne Stütze.



Abb. 113. Eiserne Stütze.

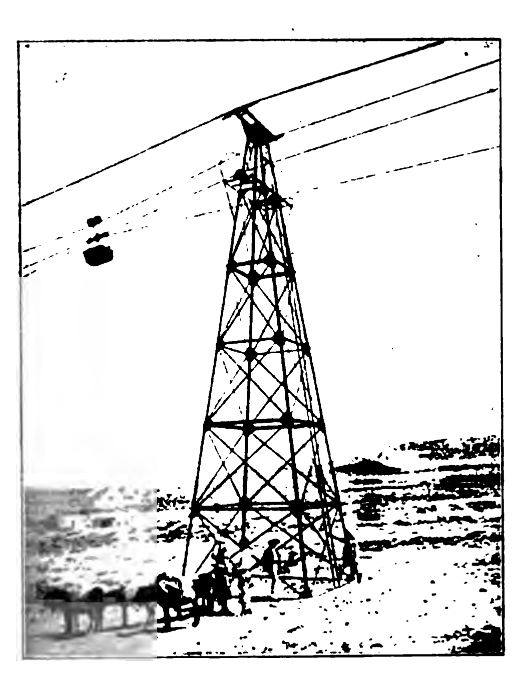


Abb. 114. Eiserne Stütze.

Bei Berechnung der Stützen sind nicht nur die senkrechten Belastungen, sondern auch die Horizontalspannung der Laufseile, der Winddruck auf Stützen und Wagen, sowie sonstige Vorkommnisse beim Betriebe (Reißen des Laufseiles u. dgl.) zu berücksichtigen.

Auflagerschuhe für das Laufseil (Abb. 116) sind aus Gußeisen und werden, um ein scharfes Biegen des Seiles zu vermeiden, an der unterstützenden Fläche meist nach einem Kreisbogen abgerundet. Die Auflagerfläche soll möglichst lang sein. Da die Seile das Bestreben haben, in den Auflagern zu kristallisieren, deckt die A. Leschen & Sons Rope Co. in St. Louis diese Stellen mit Bandeisen so zu, daß die Seile in lotrechter Richtung gehalten sind, sonst aber den wechselnden Spannungen folgen können. Damit die Förderwagen leicht über die Schuhe wegfahren, werden letztere in starken Steigungen oft schwingend angeordnet, so daß sie sich nach der Bahnneigung einstellen.

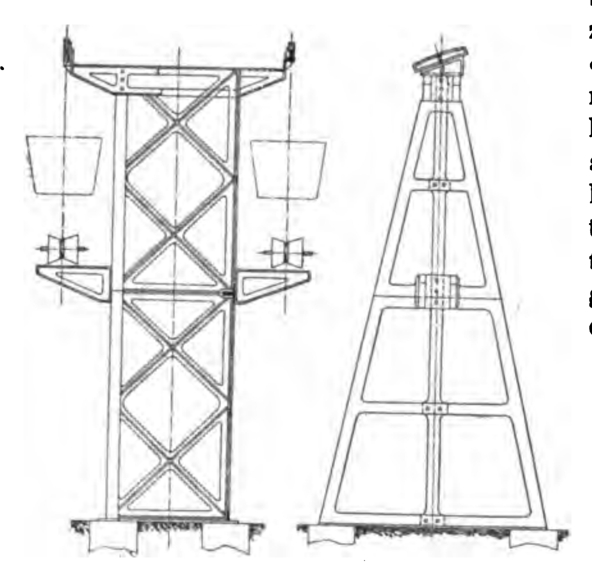


Abb. 115. Gußeiserne Stütze.

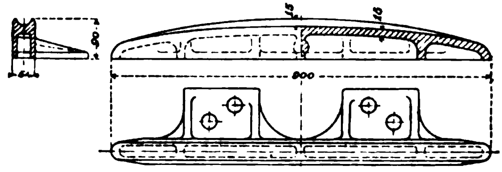


Abb. 116. Auflagerschuh für das Laufseil.

Die **Wagen** bestehen im wesentlichen aus **Laufwerk**, **Gehänge** mit **Kuppelungsvorrichtung** und **Fördergefäß**. Letzteres hängt lotrecht unter dem Tragseil, das Laufwerk rollt auf demselben und das Gehänge verbindet Laufwerk und Gefäß. Der Inhalt eines Wagens kann bis zu 1000 kg und mehr betragen, doch empfiehlt es sich im allgemeinen, nicht so große Einzellasten, welche die Anlagekosten bedeutend erhöhen, zu fördern. Durch Einrichtung zahlreicher, aber kleiner Einzellasten werden bessere wirtschaftliche Ergebnisse erzielt.

Das **Laufwerk** besteht aus zwei hintereinander zwischen zwei Stahlplatten gelagerten, gekehlten Stahlrollen. Das Laufwerkgehäuse (die Traverse) verbindet beide Stahlplatten zwischen den Rollen durch Nietung. Die Achsen der Laufrollen, aus Stahl oder Phosphorbronze, sind in die Platten eingeschraubt und enthalten Fett zur Schmierung. Sie können so angeordnet sein, daß sie, wenn auf der einen Seite abgenutzt, um 180° gedreht und alsdann nochmals benutzt werden. Die halbkreisförmige Rille der Laufrollen sichert die gute Führung des Wagens auf dem Seil und verhindert ein Schiefstellen des Laufwerks. Laufwerke mit Rollen-, bzw. Kugellagern bieten bei langen Strecken oder schweren Wagen große Vorteile und gestatten schon bei geringem Gefälle selbsttätigen Betrieb. Überdies lassen sich schwere Wagen mit solchen Laufwerken auf den Stationen ohne Anstrengung verschieben.

Das **Gehänge** mit dem Fördergefäß ist, einseitig nach außen, mittels eines kräftigen Bolzens zwischen den Laufrollen an das Laufwerkgehäuse gehängt. Das **Gefäß** erhält je nach dem Fördergut verschiedene Form, wie Abb. 117 bis Abb. 123, Ausführungen der Unternehmung Adolf Bleichert & Co. A.-G. in Leipzig-Gohlis, zeigen. Zur Beförderung von Kohlen, Erzen, Steinen, Sand usw. werden allgemein Kastenwagen aus Stahlblech mit kräftigen eisernen Beschlägen verwendet, die sich behufs

Entleerung um Zapfen an den Stirnwänden drehen können. Eine am Kasten befestigte Gabel, den einen Schenkel des Gehänges umfassend, verhindert ein willkür-

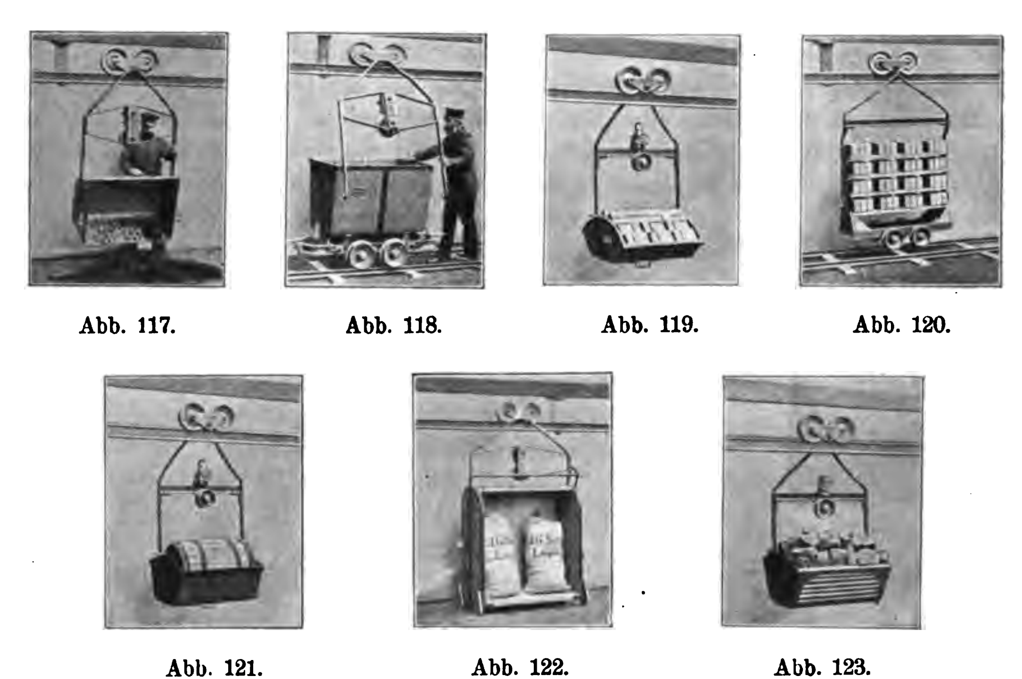


Abb. 117. Abb. 118. Abb. 119. Abb. 120.

Abb. 121. Abb. 122. Abb. 123.

liches Kippen. Zur Aufnahme von großen Stücken (Kisten, Fässern, Ballen u. dgl.) dienen Sonderwagen, während lange Stücke (Bretter, Röhren, Stammholz, Schienen,



Abb. 124. Fördergehänge für Langholz.

Eisenstangen) an zwei zusammengekuppelten Wagengehängen befördert werden. Abb. 124 gibt die Beförderung von Langholz (bis zu 10 m) auf einem Teil der

etwa 20 km langen Drahtseilbahn von J. Baich & Thorotzkai in Cimpa (Ungarn), ausgeführt von der Unternehmung J. Pohlig in Köln. Die Einzellasten betragen bis zu 1500 kg.

In Ziegeleien, Zementfabriken, Steinbrüchen, Kohlenbergwerken mit Tagbau usw. werden die Seilbahnwagenkasten häufig aus den Gehängen auf Unterwagen gesetzt, um nach der Belade- oder Entladestelle gefahren zu werden (Abb. 118). Ein Rollbahnwagen mit Kastenhebevorrichtung, ausgeführt von Ceretti & Tanfani in Mailand und in Abb. 125 dargestellt, findet in den Marmorbrüchen von Carrara Verwendung.

Oft werden die Grubenwagen direkt als Fördergefäß benutzt, indem sie in passender Weise an einem Laufwerk befestigt werden.



Abb. 125. Wagen mit Kastenhebevorrichtung.

§ 10. Schwebende Seilbahnen. Seilbahnen mit ununterbrochenem Betrieb deutscher Bauart (Fortsetzung). — Kuppelungsvorrichtungen dienen zur Verbindung der Wagen mit dem Zugseil. Im wesentlichen werden zwei Arten unterschieden, nämlich solche, bei denen das Zugseil mit Knoten versehen sein muß, und solche, die auf das glatte Seil geklemmt werden und nur durch Reibung wirken.

Die in gewissen Abständen angebrachten Knoten bezeichnen die Stellen des Ankuppelns, während die Reibungskuppelungen an jeder beliebigen Stelle fassen können. Die Knotenseile sind jetzt ganz verlassen worden.

1. Knotenkuppelungsvorrichtungen. Abb. 126 zeigt eine Klinkenkuppelungsvorrichtung (Otto's Patent), die bei einfacher Ausführung sicher arbeitet. Unmittelbar vor dem Tragseil heben sich die Klinken durch Auflaufen der Stifte auf die sogenannte Ausrückerschiene. Beim Weiterschieben legt sich das in passender Höhe geführte Zugseil auf die Leitrolle der Vorrichtung und am Ende der Schiene fallen die beiden Klinken nieder, das Zugseil umfassend. Der mit dem Seil ankommende Knoten gelangt durch Anheben der ersten Klinke zwischen beide hinein und nimmt den Wagen mit. Das Ankuppeln geschieht ohne Stoß, indem der Arbeiter den Wagen vor Ankunft des durch eine Schelle gemeldeten Knotens etwas vorschiebt. Das Entkuppeln erfolgt durch Auflaufen der Stifte und Heben der Klinke auf der Ausrückschiene, wodurch der Knoten frei wird. Bei Steigungen von 1 : 1 und Lasten von mehr als 1000 kg arbeitet die Vorrichtung noch sicher.

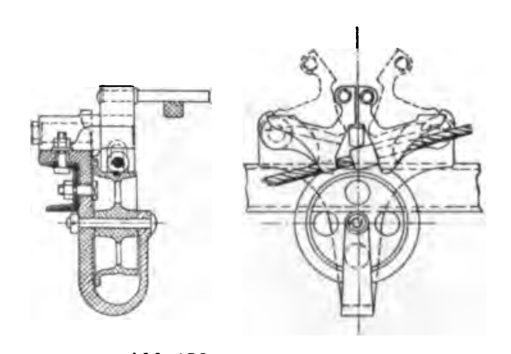


Abb 126. Klinkenkuppelung.

Muffenkuppelung von A. Bleichert (Abb. 127). Die zum Tragen des Treibseiles dienende Rolle S ist mit ihrem Stahlzapfen Y im Gehäuse G gelagert. E ist der die Schenkel des Wagengehänges absteifende Steg. In G bewegt sich in prismatischer Führung ein Schieber K, welcher die mit Fangklauen versehenen Bolzen B und B' trägt. B ist lotrecht verschiebbar und wird durch eine Feder nach

unten gedrückt. Die Stahlplatte A hält die beiden Bolzen und verhindert deren Drehung. Der Ausrückbügel R ist am Schieber K um den Zapfen L drehbar, der kleine Arm desselben bewegt den Auslösbolzen F, welcher gegen den Sperrstift h drückt. Ein Druck gegen R im Punkte k läßt den Sperrstift in Tätigkeit treten. h hat einen dreifachen Zweck; er soll den eingerückten Schieber K in der tiefsten Lage sichern, den ausgerückten Schieber in seiner Stellung festhalten und ein Ausheben aus dem Gehäuse verhindern. Der Bolzen F drückt den Sperrstift h bei eingerücktem Schieber zurück. Kleine, in gewissen Abständen auf das Zugseil gebrachte Stahlmuffen M dienen den Kuppelungen als Angriffspunkte.

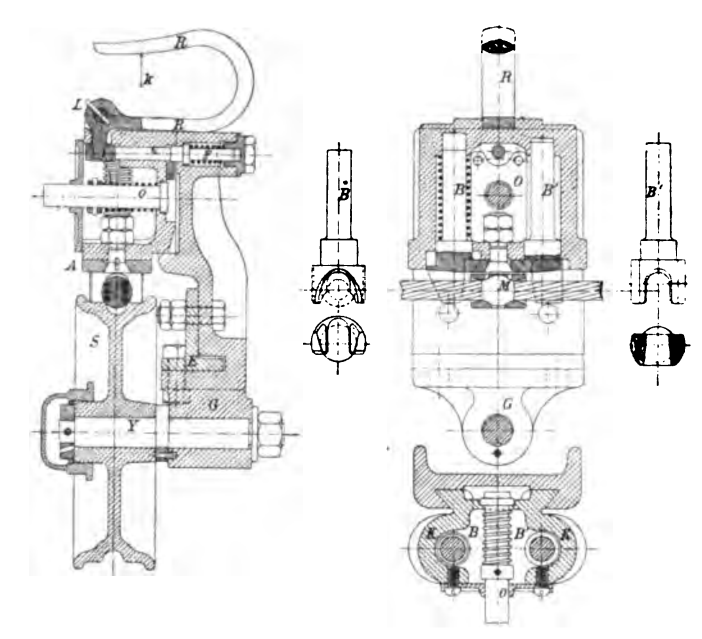


Abb. 127. Muffenkuppelung, A. Bleichert.

Ist der Wagen auf das Seilbahngleis gebracht und das Treibseil in die Rolle S eingelegt, so wird mittels des Bolzens O der Sperrstift h zurückgedrückt; der Schieber fällt in seine tiefste Lage. Eine mit dem Seil ankommende Muffe M hebt, indem sie sich unter B legt, diese Gabel in die Höhe und stößt, darunter wegschlüpfend, gegen B', wodurch der Wagen mitgenommen wird. B wird durch eine Feder zurückgedrückt und so der Wagen nach beiden Seiten hin gesichert. Das plötzliche Mitnehmen der Wagen wirkt nachteilig. Auf den Endstationen wird R durch einen Ausrückbügel gehoben und der gelöste Schieber durch h festgehalten.

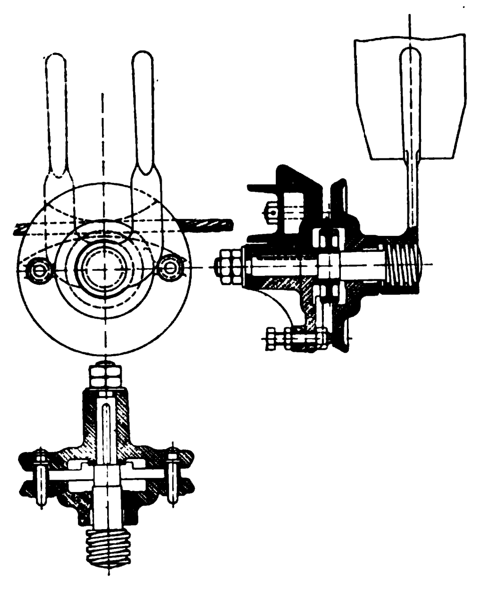


Abb. 128. Scheibenkuppelung, Pohlig.

2. Reibungskuppelungsvorrichtungen. Ihr Vorteil gegenüber den Knotenkuppelungen besteht darin, daß die Wagen an jeder beliebigen Stelle des Zugseiles angeschlossen werden können, wodurch dasselbe auf seiner ganzen Länge gleichmäßig abgenutzt wird. Im weiteren kann, bei gleicher Geschwindigkeit der Maschine bzw. des Zugseiles, die Fördermenge einer Bahn dadurch vergrößert werden, daß die

Wagen in kürzeren Abständen angekuppelt werden. Unter den verschiedenen Kuppelungsvorrichtungen sei die Scheibenkuppelungsvorrichtung (Abb. 128) von Pohlig in Köln erwähnt. Sie besteht aus zwei Scheiben, von denen die eine fest mit dem Wagengehänge verbunden, die andere, als Leitrolle zum Tragen des Zugseiles ausgebildet, auf einem Bolzen drehbar ist. Der vordere Bolzenkopf hat flachgängiges Gewinde, auf welchem ein um 180° drehbarer, das Nähern und Entfernen der Scheiben bewirkender Hebel sitzt. Eine Anschlagplatte auf der Endstation dreht den Hebel rückwärts, wodurch der Wagen abgekuppelt wird. Die Anwendung dieser Vorrichtung ist bis zu Steigungen von 1 : 6 bei Wagen von 450 kg Nutzlast möglich. Für größere Steigungen (bis 1 : 3) kam früher die Wellenbackenkuppelung zur Verwendung, welche statt der glatten Scheiben zwei mit wellenförmigen Vertiefungen versehene Backen trug, von denen der vordere durch einen Hebel mit Exzenter gegen den hinteren gedrückt wird. Dadurch wurde das Seil in wellenförmige Lage gepreßt und so die Reibung vergrößert.

Eine Reibungskuppelung von A. Bleichert ist in Abb. 129 und 130 geschlossen, in Abb. 131 und 132 gelöst gezeichnet. Der Hauptkörper *K*, welcher teilweise bewegliche Teile birgt, ist durch einen schmiedeeisernen Bügel *BB* am Wagengehänge befestigt und trägt am unteren Ende einen Zapfen zur Aufnahme der Tiegelgußstahlrolle *R*. *S* ist die mit steifem Schmiermaterial gefüllte Kapsel für *R*. Das Zugseil ruht auf der Rolle *R* und wird beim Kuppeln durch den Kreisabschnitt *E* gegen dieselbe gepreßt. Das Bewegen von *E* geschieht durch Drehen des Hebels *H*, welcher vermittels eines in *K* gelagerten Exzenters den Kreisabschnitt *E* nach unten oder nach oben bewegt. Letzterer ist nach beiden Seiten hin exzentrisch geformt, so daß bei Steigung oder Gefäll ein selbsttätiges Festklemmen der Kuppelung bewirkt wird. Die Pressung zwischen Seil und Exzenter entspricht immer der mehr oder weniger starken Neigung der Bahn. Das Abkuppeln kann an jeder beliebigen Stelle des Seiles durch Umlegen von *H* erfolgen, wenn durch einen Anschlag ein Stoß in der Pfeilrichtung ausgeübt wird, wodurch das kreisförmige Stück *E* sich hebt und das Seil freigibt.

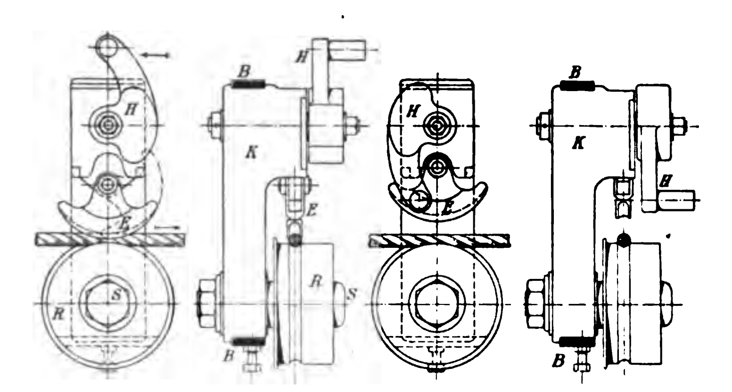


Abb. 129, 130, 131, 132. Reibungskuppelung, A. Bleichert.

Die Zugseilklemme „System Neitsch“ (D. R. P. Nr. 103161), hergestellt vom Maschinenfabrikanten Otto Neitsch in Halle a/S., findet sowohl für schwebende Seilbahnen, wie auch für Grubenbahnen Anwendung. Die schraubstockartige Seilklemme (Abb. 133) besteht aus zwei durch einen Zapfen *d* verbundene, durch die Feder *c* auseinandergehaltene Backen *a* und *b*, welche mittels Schraube *f* einander genähert werden, so daß sie das Zugseil *e* festklemmen. Ein mit sechs Armen, deren jeder als Evolventenzahn endigt, versehenes Sternrad *g* faßt bei einer ganzen Umdrehung das Seil sanft und doch kräftig. Das Rad kann nach Bedarf leicht von Hand gedreht werden.

Das Einkuppeln erfolgt durch die mit Punktverzahnung versehene Zahnstange. Sitzt das Seil fest, so verschiebt sich die Zahnstange *h*, die von der Schraubenfeder *i*

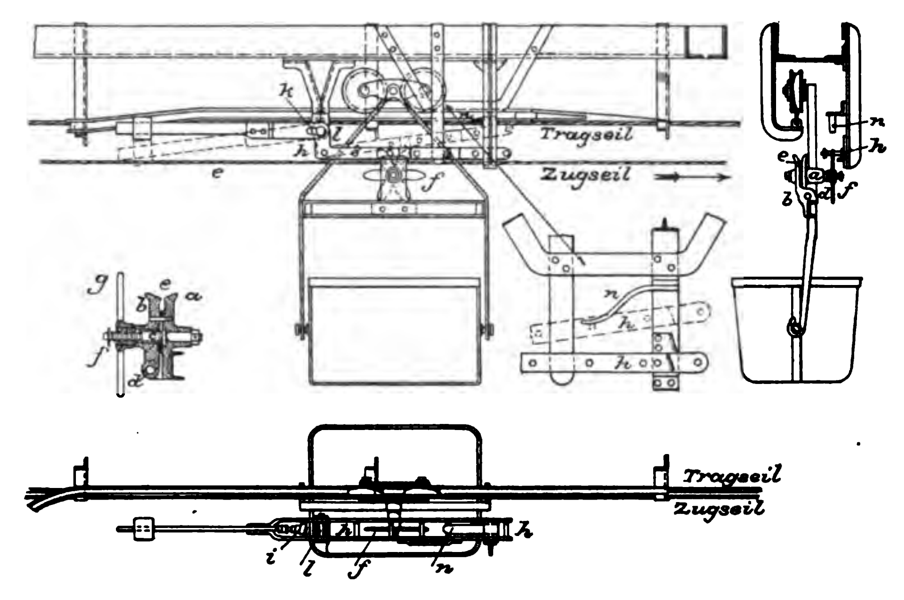


Abb. 133. Seilklemme und Anschlagvorrichtung „System Neitsch".

zurückgehalten wurde, im Schlitz *k* geführt, durch den Zahndruck in der Fahrrichtung; die Sperrklinke löst sich aus und das Gegengewicht dreht die Zahnstange um den Bolzen *l*, dadurch das Zahnrad und mit ihm den fest angeschlagenen Seilbahnwagen freigebend. Die Auffangfeder *n* mildert den Schlag der kippenden Zahnstange. Die Zahnstange wird von Hand in ihre alte Stellung niedergedrückt. Die Schraubenfeder *i* wird, dem erforderlichen Festklemmen des Seiles entsprechend, eingestellt. Die Abschlagvorrichtung besteht in einer unter das Zahnrad greifenden festen Zahnstange.



Abb. 134. Hängebahnwagen mit Pohlig's Universal-Klemmvorrichtung.

In Abb. 134 ist ein Hängebahnwagen mit Pohlig's (Otto's) Universal-Klemmvorrichtung dargestellt. Dieselbe ist vom Arbeiter unabhängig, schont das Zugseil, gestattet Steigungen bis 1 : 1 und Einzellasten bis zu 1000 kg. Schnee und Eis sind ohne Einfluß auf ihr sicheres Wirken, wie die auch im Winter betriebene, über dem 67. Breitengrade liegende Anlage der Sulitjelma A.-G. bei Bodö (Norwegen) beweist.

Die Vorrichtung kann das Zugseil an jeder Stelle fassen, stellt sich selbsttätig stets in der Zugrichtung (kein Ecken des Seiles) und verursacht beim Ankuppeln keinen Ruck.

Die Wirkungsweise der Universalkuppelungsvorrichtung ist folgende (s. Abb. 135

und 136): Die Spindel a hat Rechtsgewinde b von großer Ganghöhe in der Klemmbacke k und feines Linksgewinde c in der Klemmbacke l, und ist in einfachem Augenlager n auf dem Wagensteg drehbar gelagert. Wird der Hebel h mit Gegengewicht i von links nach rechts umgelegt, so nähern sich k und l, das Zugseil z zwischen sich

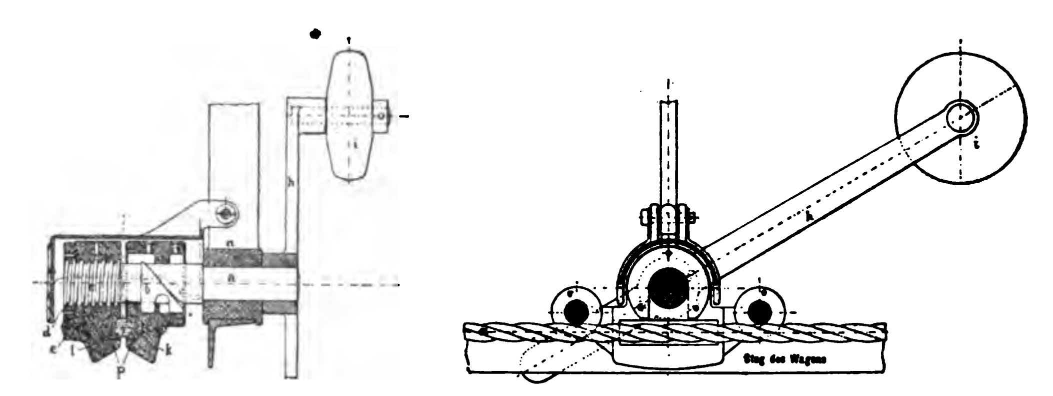


Abb. 135, 136. Universalkuppelungsvorrichtung.

festklemmend. Dadurch, daß das Gewinde b sehr steil ist, wirken in einem Teile der Drehung b und c zusammen, wodurch ein schnelles Sichnähern der Klemmbacken stattfindet. Sobald aber das Seil berührt wird, vergrößert sich der Druck auf dasselbe durch Wirkung des feinen Gewindes langsam, aber kräftig. Ein Drehen der Spindel um 120°, d. h. 60° nach rechts und links von der Lotrechten, genügt, um ein Öffnen zu bewirken. Abb. 137 und 138 veranschaulichen die Art des Ein- und Auskuppelns und die dafür notwendigen Vorrichtungen. Nach Abb. 137 schiebt der Arbeiter den Wagen in der Pfeilrichtung an. Die Hängeschiene s hat eine Einsenkung von etwa 90 mm und setzt sich der in dieselbe hinunterlaufende geöffnete

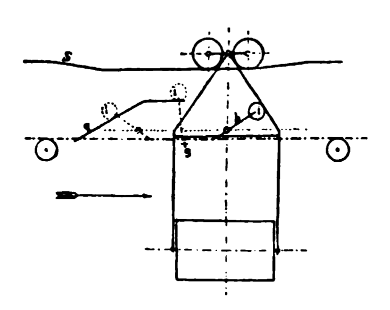


Abb. 137. Schließen der Kuppelung.

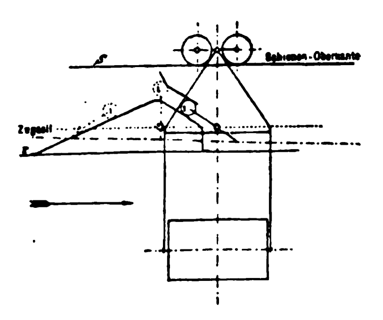


Abb. 138. Öffnen der Kuppelung.

Apparat auf das Zugseil, so daß letzteres unter die Rollen o (Abb. 136) und damit genau zwischen die Klemmfutter p zu liegen kommt. Das Gegengewicht des weiter geschobenen Wagens läuft auf das schräge Flacheisen q auf, der Hebel stellt sich lotrecht, sein unteres Ende schlägt gegen den Stift g an, dadurch das Gewicht nach vorn legend und den Wagen ankuppelnd. Zum Öffnen der Klemmvorrichtung läuft das Gegengewicht i (Abb. 138) auf das schräg gestellte Flacheisen r auf und dreht sich allmählich nach rückwärts, dadurch das Zugseil freigebend. Das Gegengewicht verhindert ein willkürliches Öffnen der Vorrichtung.

Beim **Kuppelungsapparat „Standard"** der Unternehmung **Ceretti & Tanfani** in Mailand wird das Zugseil ebenfalls zwischen zwei Backen geklemmt. Das Ein- und Auskuppeln geschieht mittels eines Hebels, der $^1/_3$ Umdrehung macht. Die An-





Abb. 139, 140. Bleichert's Kuppelungsvorrichtung „Automat".

Abb. 142.

Abb. 141.

Abb. 143.

Abb. 144.

Abb. 145.

Abb. 146.

näherung der beiden Backen geschieht durch eine schiefe Fläche, während ein rechteckiges Schraubengewinde das Ganze fest schließt.

Bleichert's Kuppelungsvorrichtung „Automat" (Abb. 139 bis 146) wirkt sehr sicher, weil durch das Wagengewicht bewegt, unabhängig von der Aufmerksamkeit

des Personals und ohne weiteres für beide Fahrrichtungen, sowohl in hohlen wie in erhabenen Krümmungen anwendbar.

Das Wagengehänge *G* (Abb. 141 bis 146) trägt an seinem oberen Ende den Mittelbolzen *M*, der in dem Gleitkörper *K*, welcher sich in lotrechter Richtung zwischen gußstählernen Wangen bewegen kann, gelagert ist. An seinem oberen Ende trägt *K* die mit einem Schlitz versehene Druckschraube *D*, in welche der um *A* drehbare Hebel *H* eingreift. Der kürzere, zu einem Klemmbacken *B* ausgebildete Schenkel des zangenförmigen Hebels stützt sich gegen einen zweiten Klemmbacken *B'*, welcher mit der einen Wange des Laufwerkes fest verbunden ist. Das Zugseil legt sich zwischen *B* und *B'*. Die Schraube *D* überträgt nicht nur die Bewegung von *K* nebst Wagengewicht auf *H*, sondern dient je nach Seildurchmesser zur Regelung der Entfernung der beiden Backen. Der Druck, mit welchem das Seil eingeklemmt wird, setzt sich zusammen aus dem Wagengewicht, multipliziert mit dem Hebelverhältnis des beweglichen Klemmbackenhebels. Durch entsprechende Wahl dieses Hebelverhältnisses kann der Druck so gesteigert werden, daß ein Rutschen des Seiles, selbst bei den größten Steigungen, nicht vorkommt. Die Länge der Klemmbacken kann, um das Zugseil günstig zu beanspruchen, beliebig groß gemacht werden.

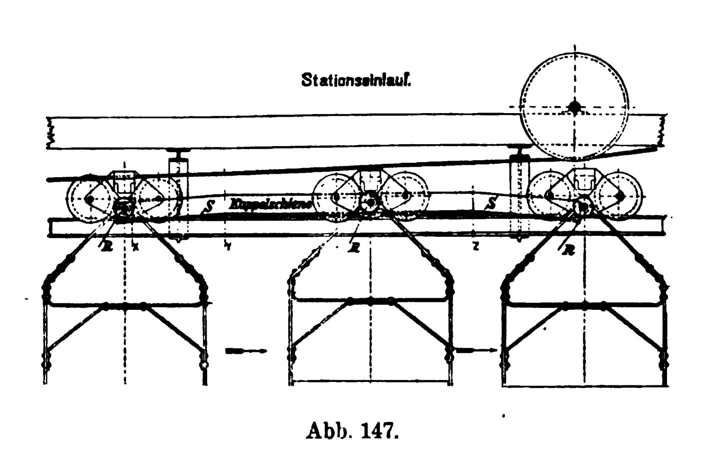


Abb. 147.

Die an den Enden des Mittelbolzens befindlichen Kuppelrollen *R* dienen zum Ein- und Auskuppeln des Wagens. Beim Einlauf in die Station gelangt der Wagen auf eine sich mittels Zunge an das Tragseil anschließende Hängebahnschiene *S'* (Abb. 141 u. 147). Zu beiden Seiten derselben befinden sich die aus L-Eisen hergestellten Leit- oder Kuppelschienen *S*, auf welchen die Kuppelrollen *R*, somit der Mittelbolzen *M* mit dem daranhängenden Wagen an gegebener Stelle Unterstützung finden. Bei *x* trifft der Wagen die von *x* nach *y* mit geringer Steigung geführte Schiene *S*. Das Laufwerk des Wagens verbleibt auf der wagrechten Hängebahnschiene *S'*, während die Kuppelrollen *R* die Steigung *xy* hinauflaufen und dadurch die Klemmbacken öffnen. Das Zugseil hebt sich aus und der von *z* an mit sich schließenden Klemmbacken fahrende Wagen kann auf der Station beliebig gefahren werden. Beim Stationsauslauf kommt der Wagen in der Pfeilrichtung (Abb. 148) an. Im Punkte *u* senkt sich die Hängebahnschiene und die Kuppelrollen sitzen auf den wagrecht weitergeführten Kuppelschienen. Der Neigung der Hängebahnschiene entsprechend senkt sich das Laufwerk und öffnet die Klemmbacken. In dieser Stellung führt sich das Zugseil zwischen *v* und *w* von oben in die Backen ein. Von *w* an senken sich die Kuppelschienen *S*, mit ihnen der Gleitkörper *K* und die Klemmbacken fassen das Seil.

Außer den vorstehend beschriebenen **Kuppelungsvorrichtungen mit hochliegendem Zugseil** bringt die Unternehmung A. Bleichert & Co. A.-G. noch eine **mit tiefliegendem Seil** zur Ausführung (Abb. 149). Erstere Anordnung ist für

geringe Zugseilspannung, letztere dagegen für Anlagen mit großer Seilspannung und schwierigen Bodenverhältnissen bestimmt. Abb. 146 zeigt einen zur Aufnahme von Fett eingerichteten Laufrollenzapfen. Die unmittelbare Verbindung von Klemme und Laufwerk hat den Vorteil, daß die Achse der Klemmbacken stets zur Seilachse gleichlaufend bleibt, und somit eine ungünstige Seilbeanspruchung in der Vorrichtung nicht

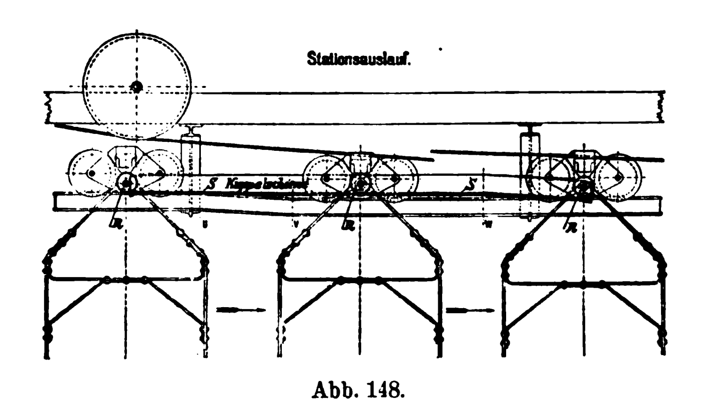


Abb. 148.



Abb. 149. Kuppelungsvorrichtung mit tiefliegendem Seil.

eintreten kann. Überdies faßt dieselbe Vorrichtung mit gleicher Sicherheit ein Seil von 15 mm oder 18 mm Durchmesser. Da eine Zugseilgeschwindigkeit von 2,5 bis 4 m/sek. zulässig ist, dürfen schwächeres Zugseil, leichteres Antriebvorgelege und weniger Wagen bei gleicher Leistung zur Verwendung kommen.

Die Kuppelungsvorrichtung „Ideal" der Unternehmung Ceretti & Tanfani in Mailand ist in Abb. 150 für hochliegendes, in Abb. 151 für tiefliegendes Seil dar-



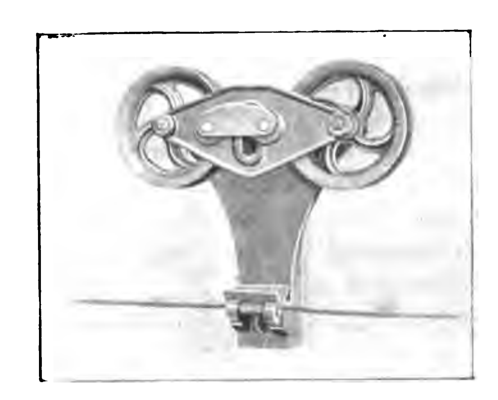


Abb. 150, 151. Kuppelungsvorrichtung „Ideal", Ceretti & Tanfani.

gestellt. Der Apparat ist einfach, läßt jedes Wagengewicht, sowie jede Steigung, und in gewissen Grenzen auch verschiedene Zugseildurchmesser zu. Bei 3 m/sek. Geschwindigkeit können in 10 Stunden bis zu 1500 t gefördert werden. Die Kuppelungsvorrichtung enthält weder Hebel noch Federn und besteht in den Hauptteilen aus (Abb. 152): Gleitstück A, Klemmbacke B, Querstück C und Rollen D. Das Kuppeln findet durch senkrechte Verschiebung von A nach unten statt (unter Benutzung des Wagengewichts); das Loskuppeln durch Heben des mit Hilfe der Rollen D auf Winkeleisen auflaufenden Stückes A. Letzteres Stück setzt sich aus Ober- und Unterteil

zusammen. Das Unterteil hat vier Gleitflächen, welche den Flächen des Querstückes C entsprechen, sowie ein Loch zur Aufnahme des Drehzapfens. Das Oberteil hat eine Rinne, in welcher sich die Rolle a verschiebt und mit dem beweglichen Klemmbacken das Seil faßt, sobald sich A nach unten bewegt. Der Klemmbacken B trägt eine Gabel, zwischen welcher die Rolle a gelagert ist. Das Querstück C hat vier Führungsflächen b für A und eine wagrechte Führung für die Gabel von B, ebenso zwei Aussparungen, um das Auf- und Abwärtsbewegen des Zapfens d zu ermöglichen. Die Rollen D sind am Zapfen d angebracht und nehmen beim Loskuppeln das Wagengewicht auf.

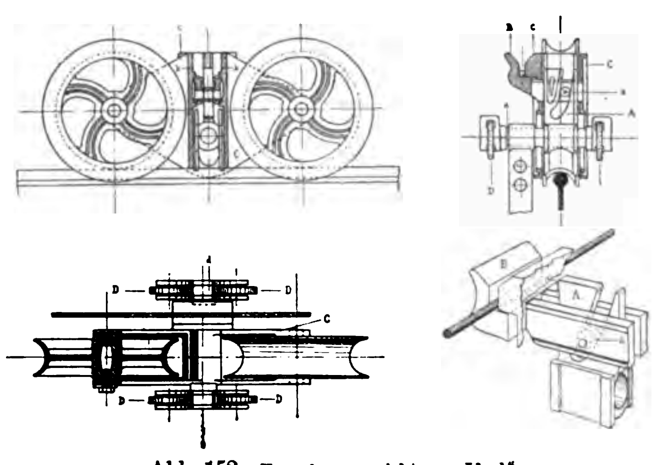


Abb. 152. Kuppelungsvorrichtung „Ideal".

Der Seilgreifer „System Stephan" (D. R. P.) der Maschinenfabrik Wilhelm Fredenhagen in Offenbach a. Main stellt gegenüber den bestehenden Kuppelungsvorrichtungen eine Neuerung dar, indem nicht nur die eine, sondern beide Klemmbacken beweglich angeordnet sind, wodurch ein absolut sicheres Greifen des Seiles erfolgt. Das Festklemmen geschieht durch das Wagengewicht allein derart, daß zwei in dem oberen Gehäuse angebrachte keilförmige Stücke gegen die Hebel der Klemmbacken drücken und beim Senken die Backen durch das Wagengewicht aneinander pressen. Bei Steigungen bis 100 v. H. arbeitet der Seilgreifer vollkommen sicher.

Selbsttätige Bremsen. Bei Seilbahnen mit sehr starken Steigungen, namentlich bei Bremsseilbahnen, wurden die Laufwerke der Wagen oft mit selbsttätigen Bremsen versehen, und zwar derart, daß sowohl die bergwärts als auch die talwärts sich bewegenden Wagen an einer abwärts gerichteten Bewegung ohne Zugseil gehindert werden.

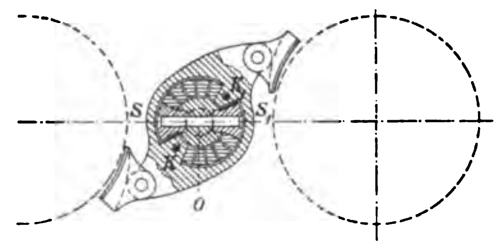


Abb. 153. Vorwärtsbremse.

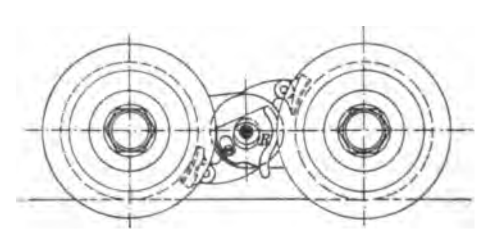


Abb. 154. Rückwärtsbremse.

Die Vorwärtsbremse (Abb. 153) von Bleichert & Co. A.-G. besteht aus einem um O drehbaren, doppelarmigen Hebel mit Bremsklötzen. Dieser Hebel enthält im Innern zwei Ansätze KK_1, welche sich gegen zwei, mit dem Mittelbolzen fest verbundene Stücke SS_1 legen. Zwischen K und S, bzw. K_1 und S_1 sind kleine, nach

außen hin durch Blechscheiben gehaltene Gummistücke eingelegt. Die Vorwärtsbremse wird beim Bau der Wagen so eingestellt, daß bei wagrechter Lage des Querstückes die Bremsklötze in gewisser Entfernung von den Laufrädern sich befinden. Geht der Wagen auf eine geneigte Strecke über, so stellt sich auch das Querstück schräg ein und die Bremsklötze legen sich um so stärker an die Räder, je größer die Neigung der Strecke ist.

Bei der Rückwärtsbremse (Abb. 154) ist zwischen den Laufrädern des Gestelles ein exzentrisch geformtes loses Rad R angebracht. Wenn das Zugseil reißt und der Wagen eine entgegengesetzt gerichtete Bewegung annehmen will, so klemmt sich das lose Rad zwischen die Laufräder und verhindert die Bewegung.

Anfangstation, Beladestation. Stationen werden außer an den Endpunkten bei langen Bahnen alle 5 bis 6 km eingerichtet, überdies bisweilen auch dort, wo die Bahnlinie von der geraden Richtung abweicht (Winkelstation). Zum Beladen müssen die Wagen auf besonderen Gleisen (Hängeschienen, die auf Schuhen einseitig etwa 2 m über dem Fußboden gelagert sind) ohne Verbindung mit dem Zugseile aufgestellt werden. Zu diesem Zwecke werden die Wagen meist selbsttätig vom Zugseile losgekuppelt und durch Arbeiter auf das gewöhnlich aus Flacheisen hergestellte Beladegleis geschoben.

Die in Abb. 155 und 156 dargestellte Beladestation eignet sich für Kohlen- und Erzförderung (Ausführung von A. Öhler & Co. in Aarau, Schweiz). Ein Füllrumpf R

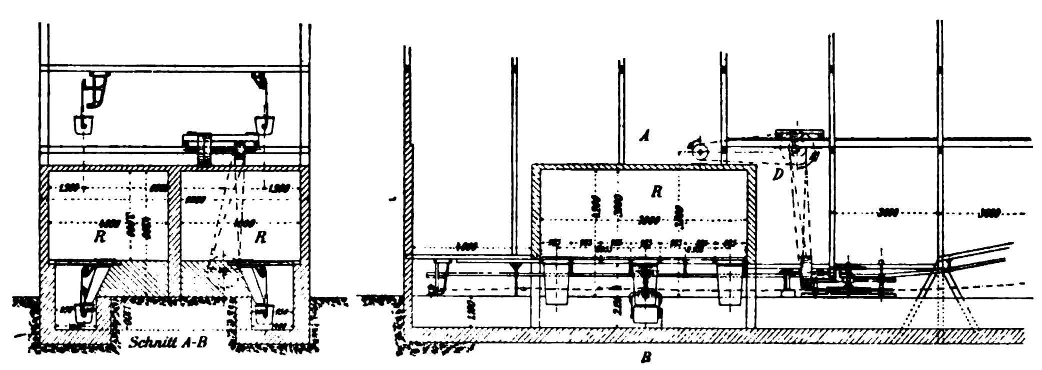


Abb. 155, 156. Beladestation.

ist zur Aufnahme des von den Gruben gelieferten Fördermaterials bestimmt und kann sein Gut durch drei mit lotrecht beweglichem Schieber verschließbare Füllschnauzen an die Wagen abgeben. D ist die für den Betrieb erforderliche Kraftmaschine. Ankommende, vom Zugseil gelöste leere Wagen werden durch Weichen an den Füllrumpf gelenkt, alsdann wieder durch Weichen auf das Laufseil gefahren und angekuppelt.

Entladestation. Zum Entladen der Wagen wird die Zugseilverbindung gelöst und die Fahrzeuge durch Arbeiter auf besonderen Gleisen den Entladevorrichtungen zugeführt. Das Entladen gewisser Materialien geschieht am einfachsten durch Kippen der Wagenkasten um ihre in den Gehängen gelagerten Drehzapfen. Säcke, Kisten, Fässer u. dgl. werden von Hand entladen.

Haupt-(Zentral-)Stationen sind größere Winkelstationen, die den Zweck haben, strahlenförmig nach verschiedenen Seiten hin den Seilbahnverkehr zu ermöglichen. Die in Abb. 157 bis 159 dargestellte Hauptstation wurde von der Unter-

nehmung Adolf Bleichert & Co. in Leipzig-Gohlis für die Gewerkschaft „Ludwig II" in Staßfurt zur Beförderung von Kalisalzen und Rückständen eingerichtet.

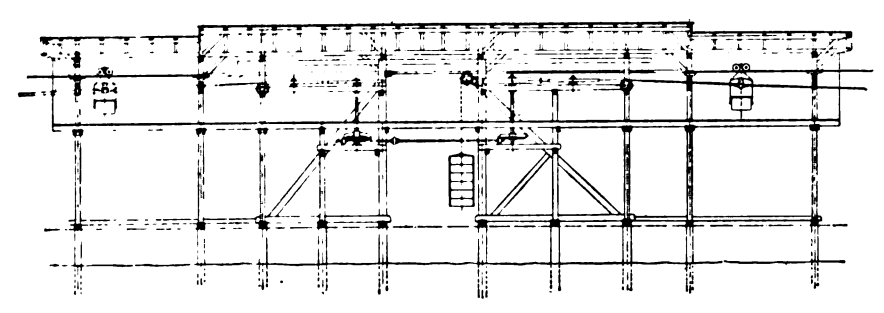


Abb. 157. Haupt-(Zentral-)Station.

Schutzvorrichtungen. Beim Überschreiten von Straßen und Eisenbahnen wird unterhalb der Seilbahn ein hölzernes oder eisernes Schutzdach, über Gebäuden und Fabrikhöfen ein Schutznetz angebracht, um das etwa vorkommende Herausfallen von Fördergut oder Abstürzen der Wagen bei Seilbruch unschädlich zu machen. Abb. 160 und 161 zeigen Schutzvorrichtungen von J. Pohlig in Köln, erstere für den Straßenübergang einer Doppelseilbahn bei Bochum, letztere für einen Bahnübergang bei Köln.

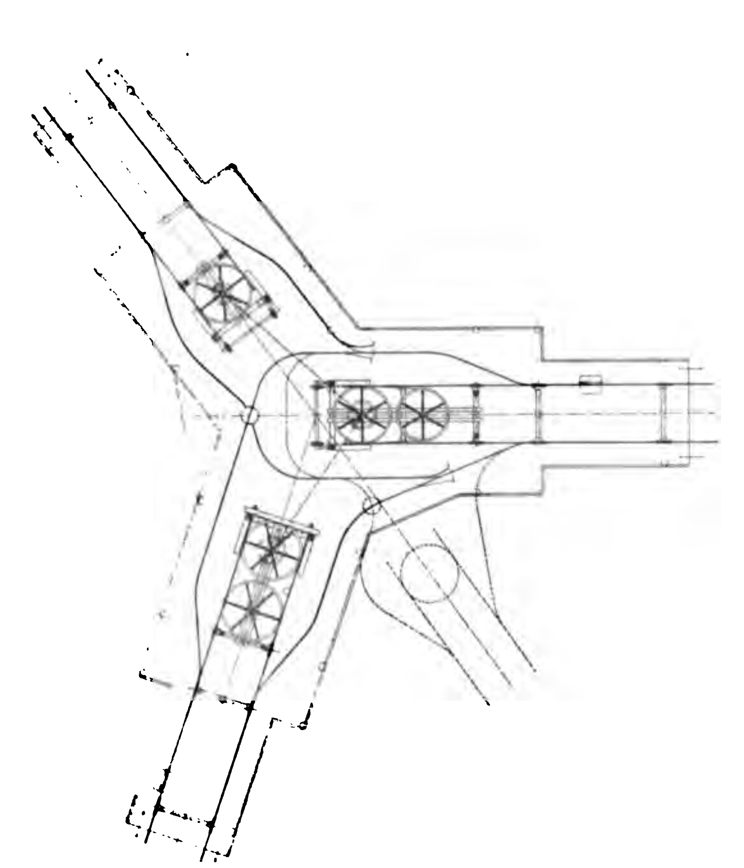


Abb. 158. Zentralstation.

Zum Zählen der geförderten Wagen können selbsttätige Zählvorrichtungen angebracht werden. Wo es sich darum handelt, das Gewicht der geförderten Stoffe genau festzustellen, werden Schnellwagen aufgestellt, welche ein Wiegen der Seilbahnwagen in einigen Sekunden ermöglichen.

In Abb. 162 ist eine solche Wage, wie sie von der Düsseldorfer Maschinenbau-Akt.-Ges., vorm. J. Losenhausen, angefertigt wird, dargestellt. Die Wagen

werden in die Hängeschienen eingeschaltet, so daß die Seilbahnwagen bei Nichtgebrauch derselben ungehindert durchgehen können. Die Wagen werden auch mit Gleisunterbrechung angeordnet, erhalten aber in allen Fällen eine leicht zu bedienende Abstellvorrichtung durch Handhebel mit Patent-Sicherheitsgesperre. In einfacher Weise kann noch ein Zählwerk angebracht werden, welches gestattet, die Zahl der vorgenommenen Wägungen zu beobachten. Da die Wage nur in Laufgewichtsanordnung ausgeführt wird, bedarf sie keiner Gewichtsteine und kann mit einer Gewichtdruckvorrichtung versehen werden, wodurch die ermittelten Gewichte unmittelbar auf einen Wiegeschein gedruckt werden. Der Preis einer Hängebahnwage ohne Gleisunterbrechung beträgt 400 Mk., mit Zähler 85 Mk. mehr.

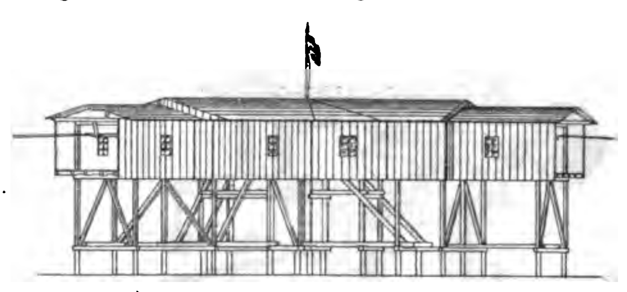


Abb. 159. Zentralstation.



Abb. 160. Straßenübergang.



Abb. 161. Bahnübergang.

§ 11. Meerseilbahnen. Patent Lidgerwood-Miller[45]). Seit Jahren wurde nach Mitteln gesucht, um auf hoher See Kohlen von einem Schiff in ein anderes umzuladen. Da das offene Meer nie ganz ruhig ist, kann ein Kohlenschiff selten wagen, sich Bord an Bord neben ein Kriegsschiff zu legen um Kohlen zu löschen. Zwar wurde dieses Experiment Mitte August 1890 vom englischen Admiral Michael Culme Seymour mit Erfolg ausgeführt. Das aus zehn Kriegs- und drei Kohlenschiffen bestehende Geschwader befand sich damals 500 Meilen südlich der Azoren und 1000 Meilen von der afrikanischen Küste entfernt. Die durch dicke Bretter geschützten Kriegsschiffe legten an die Kohlenschiffe an und nahmen mit Drehkranen

[45]) Engineering 1900, S. 75. Ebenda 1902, S. 170. Ebenda 1904, S. 818.

Kohlen an Bord. Sobald die Transportschiffe stark entladen waren, machten sich die gegenseitigen Bewegungen der beiden Fahrzeuge unangenehm bemerkbar.



Abb. 162. Wage für Hängebahnen.

Der zweite derartige Versuch wurde von der französischen Marine gemacht, wobei die nebeneinander liegenden Schiffe mit etwa zehn Knoten (18,5 km/Std.), fuhren.

Die Erfindung der Meerseilbahnen rührt von Spencer Miller, dem Oberingenieur der Firma Lidgerwood in New York her und hat sich, obschon erst seit 1900 bekannt, in allen Marinen gut eingeführt.

Die erste Studie wurde vom Erfinder im Jahre 1893 zu Papier gebracht, der erste Versuch dagegen erst am 15. Oktober 1898 im Hafen von New York zwischen einem Schleppdampfer und einer kohlenbeladenen Schaluppe ausgeführt.

Die Woodward'schen Versuche, wobei die Kohlen über das Hinterteil des Schiffes gefördert werden sollten, haben kein befriedigendes Ergebnis gehabt[46]).

Obwohl im spanisch-amerikanischen Kriege noch kein Schiff mit Meerseilbahn benutzt wurde, hat Miller im Auftrage der amerikanischen Regierung während desselben das Kriegsschiff Massachusetts und den Kohlentransportdampfer Marcellus eingerichtet und im November und Dezember 1899 probiert. Bei einem der Versuche in mittlerem Seegang und 120 m Schiffsentfernung wurden stündlich 20 bis 24 Tonnen gefördert. Massachusetts fuhr mit 9 bis 11 km/Std. und brauchte dabei $3^1/_2$ t Kohle. Die einzelnen Ladungen betrugen 380 kg, die Fördergeschwindigkeit 6 m/sek.

Die ersten englischen Versuche fallen in den Februar 1902 und wurden zwischen den Schiffen Trafalgar und Muriel (Kohlenschiff) gemacht. Die Geschwindigkeit betrug 18 bis 20 km/Std., der Schiffsabstand 120 m, die Leistung 40 bis 60 t/Std. Statt des Seeankers fand eine Dampfmaschine (Zylinder 280/280 mm) mit Schleifkuppelung Verwendung. Die Zugleinen zum Herüberschaffen der Schlepptaue wurden an Bojen befestigt. Bis das Kohlenschiff richtig im Schlepptau war, vergingen 52 Minuten; die Einrichtung der Seilbahn erforderte dann noch $22^1/_2$ Minuten. Das Abbrechen der Bahn und der Schleppvorrichtung war in einer halben Stunde beendigt.

Die „Illinois" (V. St. v. N.-A.) war das erste Schiff, welches eine vollständige Lidgerwood-Miller Meerseilbahn erhielt, so daß es von irgend einem bemasteten Schiff auf hoher See Kohlen aufnehmen kann.

Dic Hauptbestandteile der in Abb. 163 in Hauptlinien dargestellten Meerseilbahn nach Lidgerwood-Miller'scher Bauart sind folgende: Haupt- oder Laufseil *a* mit Seeankern *b*, Laufwerk *c*, Zugseil *d*, Winden *e* und *f*, Aufzugsvorrichtungen *g g* und Senkvorrichtung *h*.

Das Hauptseil *a* ist, wie auch aus Abb. 171 ersichtlich, mit dem einen Ende

46) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. Bd. XXXXIV, S. 456/57.

an einem Gefechtsmast des Kriegsschiffes, mit dem andern, hinter dem Vordermast (Aufzugsmast) des Kohlenschiffes, entweder an einer Winde oder an Seeankern *b* befestigt.

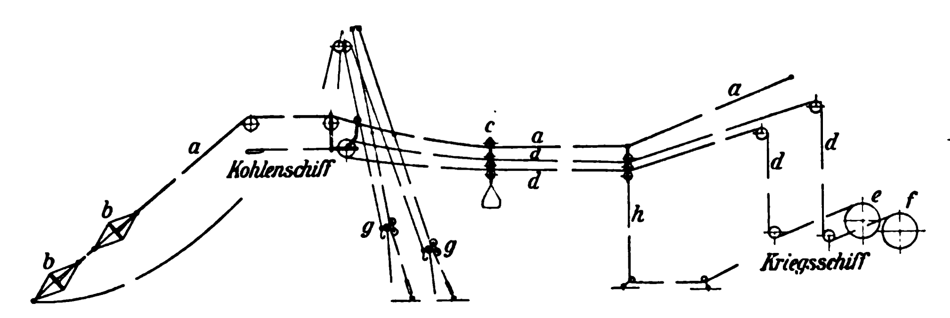


Abb. 163. Meerseilbahn nach Lidgerwood-Miller.

Die Regulierung der Schlepptau-, sowie der Laufseilspannung bereiteten die größten Schwierigkeiten, die aber durch die Lidgerwood'schen Wind- und Reguliermaschinen mit Rutschkuppelung (Abb. 164) beseitigt wurden. Die Winden sind so eingerichtet, daß sie entweder einem doppelten Zwecke, zur Betätigung der Seilbahn und zum Kohlenfassen vom Lande her, oder als besonders schnellaufende Winden mit zwei Trommeln lediglich der Meerseilbahn dienen. Bei Regulierung der Laufseillänge durch Winden mit Rutschkuppelung zeigt sich der Übelstand, daß die Schiffe das Bestreben haben, sich einander zu nähern. Dieser Übelstand wird durch Verwendung von Seeankern vermieden, deren ein bis drei Stück von 1,5 bis 2,7 m Durchmesser verwendet werden.

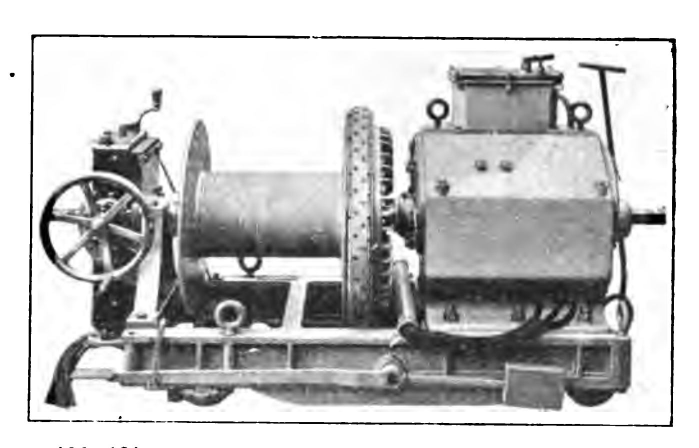


Abb. 164. Elektrische Wind- und Reguliermaschine nach Lidgerwood.





Abb. 165, 166. Seeanker.

Abb. 165 zeigt einen Seeanker von oben, Abb. 166 zwei hintereinander angeordnete Seeanker. Den Seeankern haftet der Übelstand an, daß die Leinwand, aus welcher sie verfertigt sind, mit der Zeit schwach wird, so daß sie dem Zuge nicht mehr

widerstehen können. Die Seeankerleine hat etwa 22 mm Durchmesser und 600 m Länge.

An dem Zugseil *d* von etwa 12 mm Durchmesser ist das die Last tragende Laufwerk *c* festgeklemmt, so daß ersteres bei Ankunft der Last auf dem Kriegsschiff durchrutscht ohne Schaden zu nehmen. Abb. 167 zeigt ein solches Laufwerk mit der in vier Ledersäcken verpackten Kohlenladung von $1^1/_2$ Tonnen. Abb. 168 veranschaulicht das Ankuppeln der beladenen und Abnehmen der leeren Säcke auf dem



Abb. 167. Laufwerk.



Abb. 168. An- und Abkuppeln.

Kohlenschiff. Die Bewegung des Zugseiles geschieht durch Dampf oder Elektrizität. Bei Ankunft der Säcke auf dem Schiff wird die Ladung mit einem besondern Seil *h* niedergeholt, in einen Tuchtrichter entleert und die leeren Säcke wieder zurückbefördert. Auf dem Kohlenschiff muß genügend Mannschaft zum Füllen, und wenn keine Dampf- oder elektrische Winden vorhanden sind, zum Aufziehen der Säcke anwesend sein.

Der Betrieb mit einem endlosen Seil (schwebende Seilbahn englischer Bauart) hat sich nicht bewährt. Diesbezügliche Versuche fanden in England, Deutschland und Rußland statt.

Der Vorder- oder Aufzugmast des Kohlenschiffes hat eine dem Seildurchhang und der mittleren Schiffsentfernung entsprechende Höhe. Die Leistungsfähigkeit des Aufzuges beträgt 40 t/Std., somit bei zwei Aufzügen an einem Mast 80 t/Std. Die Leistungsfähigkeit sollte immer größer sein als diejenige der Seilbahn. Je kürzer die Schiffsentfernung, um so größer die Leistung; letztere kann aber auch durch Vergrößerung der Last gehoben werden. Der Grund, warum die Größe der Förderlast, bei Verwendung einer Maschine zur Spannungsregulierung, begrenzt ist, liegt darin, daß bei kleiner Taugeschwindigkeit eine schwere Last die Schiffe zusammenzieht. Bei bewegter See ist eine lange Förderbahn aus Sicherheitsgründen geboten, aber anderseits erwächst daraus wieder eine größere Laufseilspannung. Oft ist eine kleine Fahrgeschwindigkeit angezeigt, damit das Kohlenschiff nicht zuviel Wasser schöpft. Wird die Fahrgeschwindigkeit verringert, so kann die Spannung des Hauptseiles die

Zugseilspannung überschreiten und das Kohlenschiff wird nach dem Kriegsschiff gezogen. Dies kam tatsächlich bei englischen Versuchen vor, und wurde dabei die Schiffsentfernung plötzlich um 45 m verringert.
In Abb. 169 ist die Kohlenförderung bei bewegter See, mit 330 m Schiffsabstand und kleiner Förderlast; in Abb. 170 bei ruhiger See, mit 90 m Schiffsabstand und großer Last dargestellt.

Ist das Kohlenschiff groß genug, um das Kriegsschiff ins Schlepptau nehmen zu können, so braucht letzteres doch etwa eine Tonne Kohlen in der Stunde. Ist es jedoch nicht groß genug, so muß das Kriegsschiff seine Maschinen mitarbeiten lassen, die eine zweite Tonne verbrauchen. Bei den meisten Kriegsschiffen ist überdies das Vorderteil weniger geräumig als das Hinterteil, so daß es sich empfiehlt, die Kohlen über Heck und nicht über den Bug einzunehmen.

Große Kriegsschiffe sind oft in der Lage, Kohlen an kleinere abgeben zu müssen, z. B. Panzerschiffe an Torpedoboote, was sich mit Hilfe der beschriebenen Seilbahn leicht bewerkstelligen läßt.

Genügt eine Seilbahn nicht, so können deren zwei nebeneinander eingerichtet werden. Durch Hinzufügen eines Laufseiles, eines Laufwerkes und einer Niederholvorrichtung kann die zweite Seilbahn mit dem einen Zugseil und einem Paar Winden bedient werden.

Versuche haben gezeigt, daß auch ungeschulte Mannschaft die Seilbahn in kurzer Zeit einrichten und gut bedienen kann.

Abb. 171 zeigt eine Meerseilbahn in Betrieb[47]).

§ 12. Drahtseilverladebahnen[48]). Die Entfernungen, auf welche Waren nach dem Heben oder nach dem Löschen aus Schiffen usw. mit ein und derselben Vorrichtung befördert werden müssen, sind nicht selten so groß, daß eiserne Brücken entweder zu kostspielig werden, oder wegen der erforderlichen großen Spannweiten überhaupt nicht ausführbar sind. In Nordamerika sind seit vielen Jahren solche Verladevorrichtungen, den verschiedenen Zwecken entsprechend, gebaut worden. Sie sind unter der

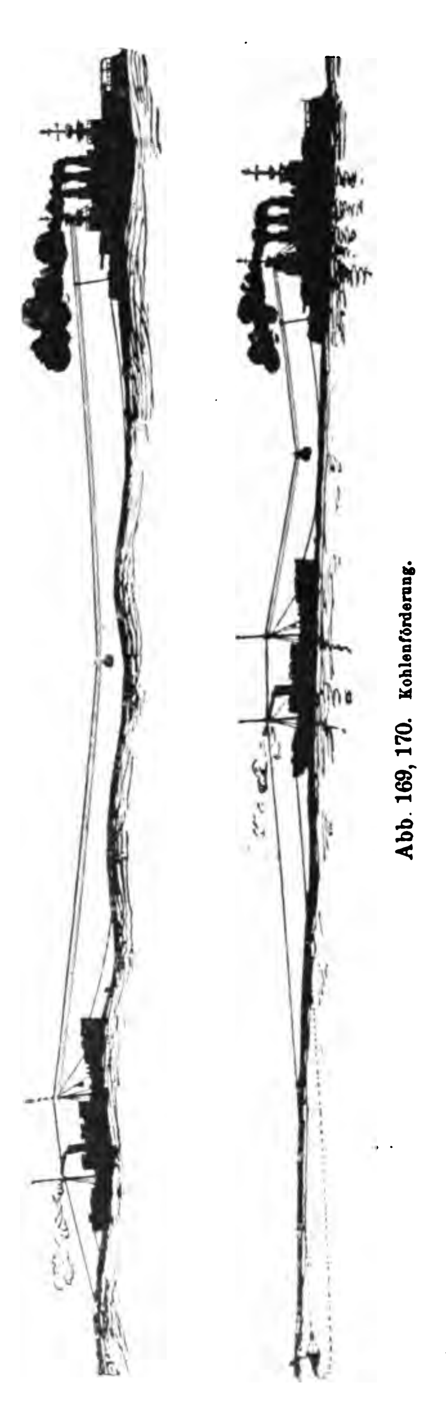


Abb. 169, 170. Kohlenförderung.

[47]) Alle Photographien sind Eigentum der Unternehmung Lidgerwood & Co. New York.

[48]) Zentralblatt d. Bauverwaltg. 1902.

Bezeichnung „Cable Hoist Conveyors“ oder „Blondins“ bekannt; letztere Bezeichnung nach jenem Amerikaner, welcher an einem Seile über die Niagarafälle fuhr. In Europa sind in neuester Zeit einige Drahtseilverladebahnen zur Ausführung gekommen, von denen aber die meisten in Amerika entworfen und von dort eingeführt wurden.

Von den schwebenden Seilbahnen unterscheiden sich die Verladebahnen dadurch, daß sie bestimmt sind, nur eine Last, aber von mehreren Tonnen Gewicht,

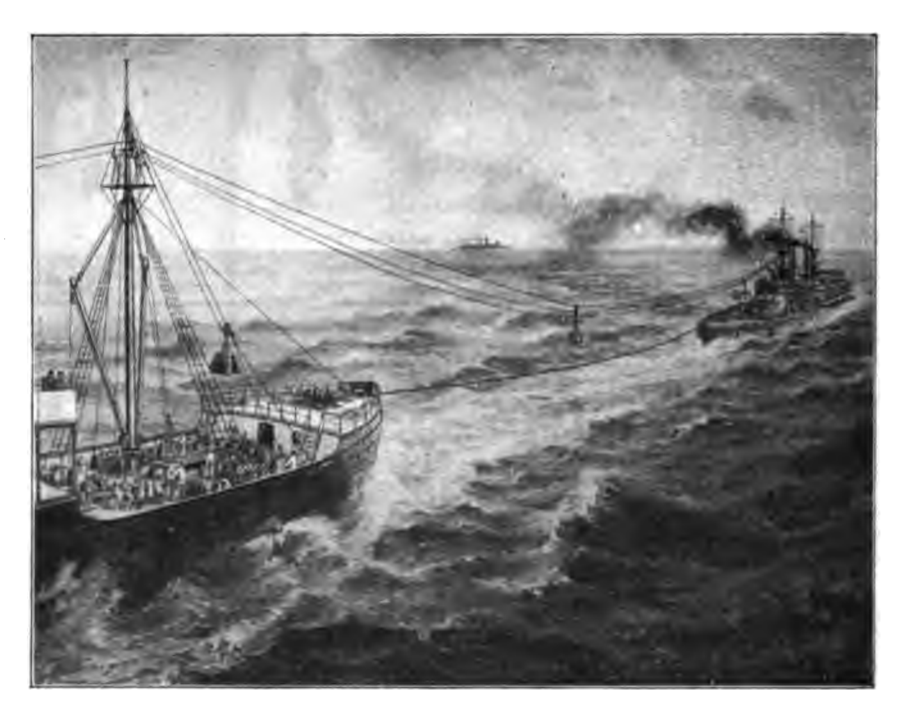


Abb. 171. Meerseilbahn in Betrieb.

über eine verhältnismäßig kurze Strecke zu fördern. Zwischen zwei Türmen liegt eine einzige Spannung; ausnahmsweise kommen Zwischenunterstützungen vor, wobei dann aber zwei Laufseile nebeneinander zu spannen sind.

Die ersten Einrichtungen wurden vor etwa 30 Jahren durch die Flory Manufacturing Co. in Bangor für Schieferbrüche in der Nähe von Bangor, Pa. hergestellt, und sind jetzt noch im Betrieb. Auch die Trenton Iron Co. hat seit langen Jahren in den Steinbrüchen von Pennsylvania und Vermont geneigte Fördereinrichtungen gebaut.

Wir können vier verschiedene Ausführungsarten der Verladebahnen unterscheiden. Entweder sind bei den **fahrbaren** Drahtseilverladebahnen beide Stützen fahrbar (Abb. 172), oder eine Stütze ist fahrbar, die andere feststehend. In beiden Fällen ist die Katzenlaufbahn annähernd wagrecht. Oder aber es sind bei den **feststehenden** Verladebahnen zwei feststehende Stützen bei annähernd wagrechter Seilbahn vorhanden, wobei Hebe- und Förderseil erforderlich sind (Abb. 173 und 174), oder die Seilbahn ist stark geneigt, und ein Seil genügt für das Heben und Fördern der Last (Neigung wenigstens 25 bis 30 v. H.) (Abb. 175).



Die Höhe der Türme ist von der Spannweite und der Größe des Seildurchhanges abhängig. In Amerika werden sie meist aus Holz hergestellt (Abb. 172 bis 174 und 176, Ausführungen der Unternehmung Lidgerwood & Co. in New York), in Europa



Abb. 172. Fester Turm (Filteranlage in Philadelphia) [H = 25 m].

aus Eisen. Die beweglichen Türme ruhen auf zwei bis drei Schienensträngen. Sie wurden zuerst von der Lidgerwood Co., New York, für den Chicago-Entwässerungskanal gebaut und dort in 20 Exemplaren aufgestellt.

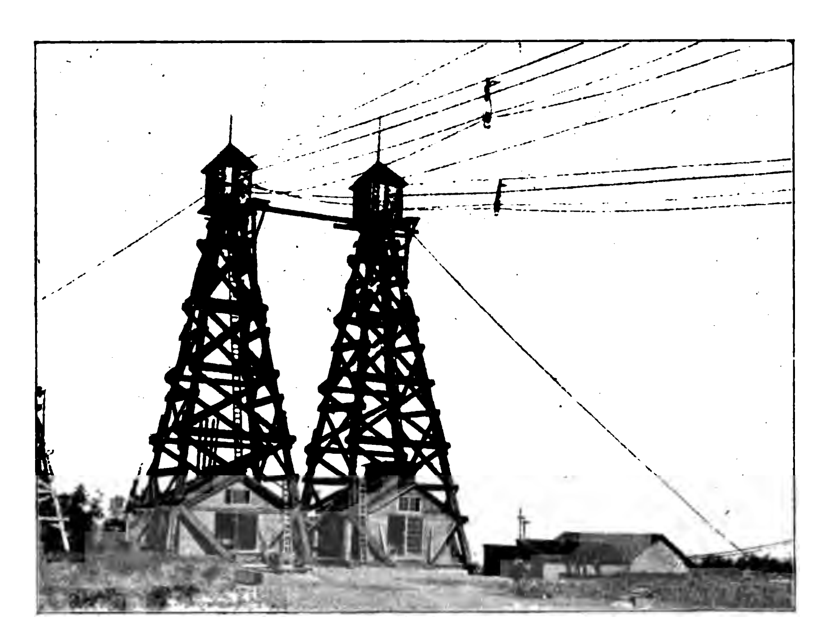


Abb. 173. Feste Antriebtürme.

Abb. 176 zeigt einen fahrbaren Turm für Doppelseilbahn, von der Lidgerwood Manufacturing Co. für den Illinois- und Mississippikanal ausgeführt (H = 17,5 m).

Auf dem Hauptgerüst (Hauptturm) ist die Dampfmaschine nebst Kessel, Windetrommeln und Ballast untergebracht. Das Hintergerüst (Spannturm) hat, wenn beweglich angeordnet, die erforderliche Belastung und nötigenfalls eine kleine Maschine.

Finden bei kleinen Spannweiten feststehende Masten Verwendung, so müssen Maschine und Kessel in besonderem Gebäude untergebracht werden (Abb. 175).

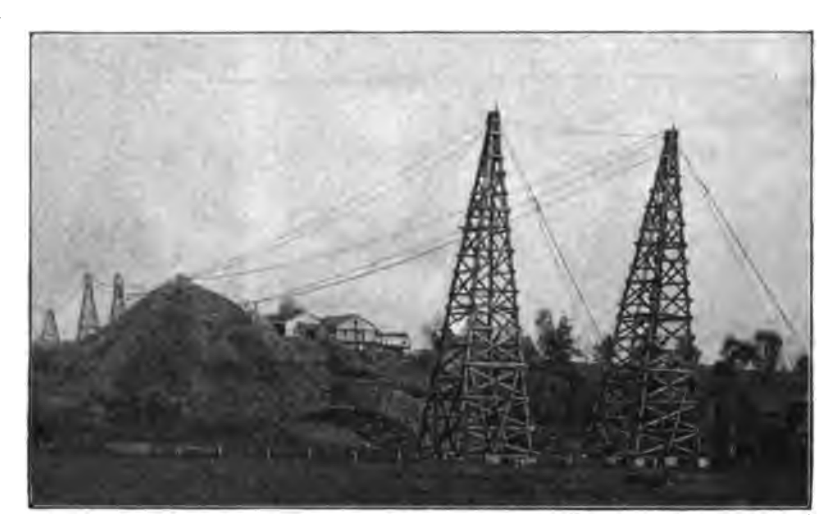


Abb. 174. Feste Spanntürme (H = 38 m).

Die Bewegung der Türme geschieht mittels Flaschenzügen, die vor und hinter dem zu bewegenden Turm verankert sind. Die Geschwindigkeit beträgt etwa 15 m/Min. Das Verschieben, das durch Dampf- oder elektrische Maschinen bewerkstelligt wird, erfordert eine bis anderthalb Stunde. Am Chicago-Entwässerungskanal wurde der

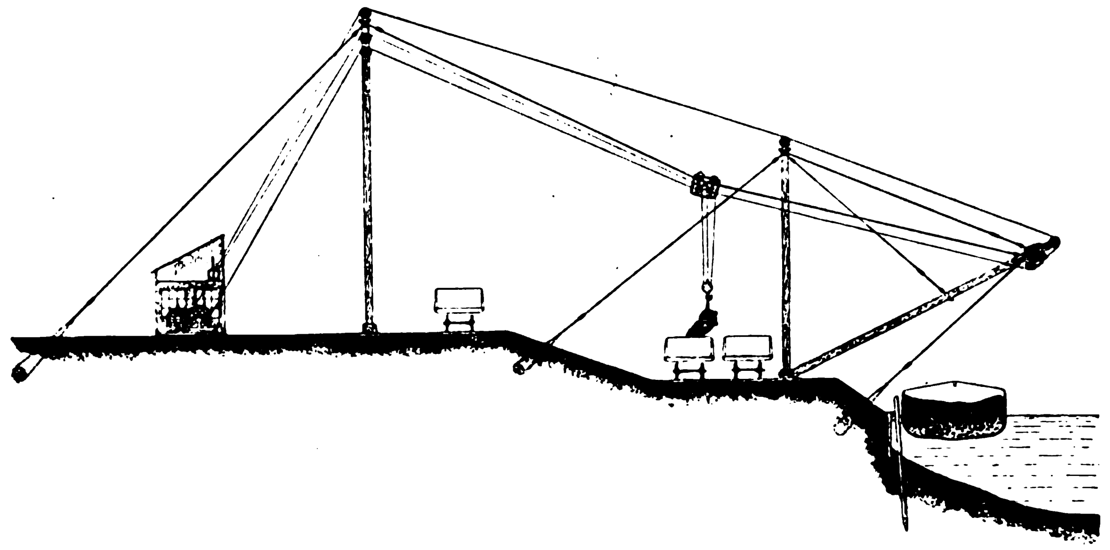


Abb. 175. Verladebahn mit festen Stützen.

Spannturm mittels Druckluft, die einer längs der Berme geführten Leitung entnommen wurde, bewegt.

Für die Befestigungsbauten auf Tybee Island, Ga., bauten Lidgerwood & Co. einen pendelnden Mast, der sehr gute Dienste leistete.

Abb. 177 zeigt die Seilverankerung bei Benutzung von festen Masten.

Bei selbsttätig abwärts fahrender Last ist nur ein Seil für die Rückbewegung erforderlich; bei wenig geneigter Fahrbahn dagegen meist getrennte Aufzug- und

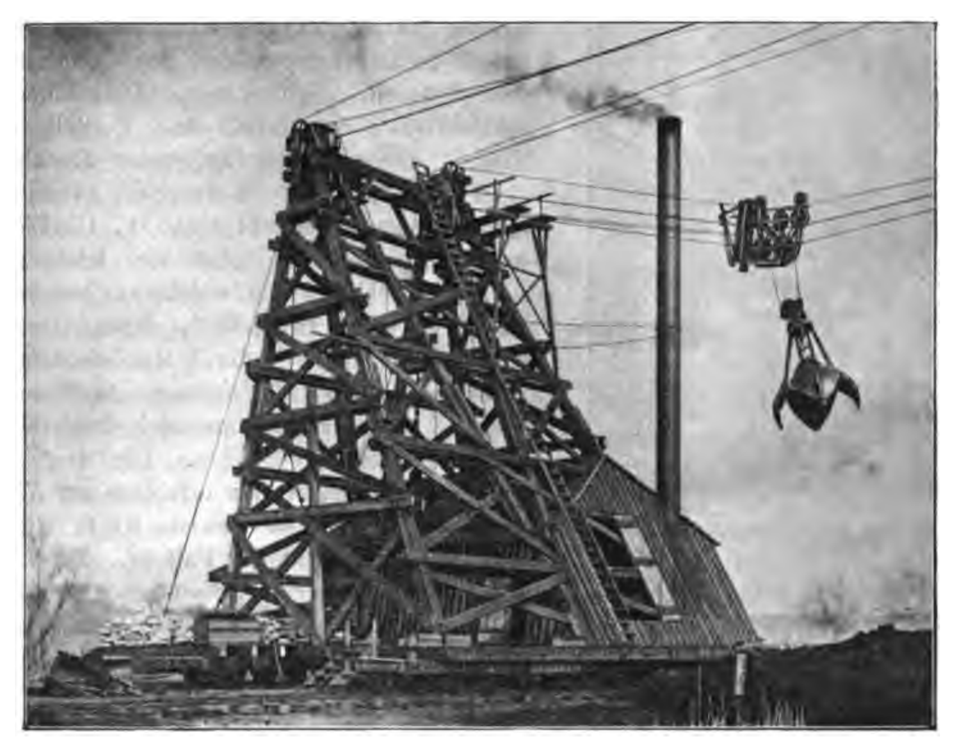


Abb. 176. Fahrbarer Turm.

Förderseile. Auf den Türmen sind die Laufseile in gußeisernen oder harthölzernen Sätteln gelagert. In Abb. 178 ist das System Laurent-Cherry in den Hauptlinien dargestellt. Das als endloses Seil ausgebildete Aufzugseil bedarf keiner besonderen

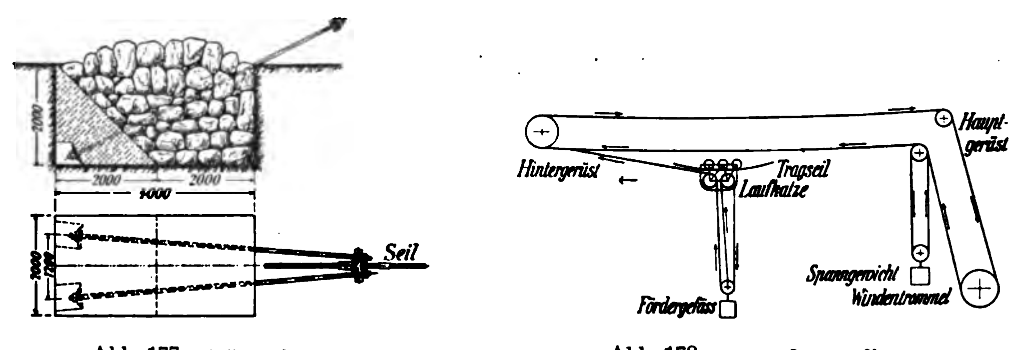


Abb. 177. Seilverankerung. Abb. 178. System Laurent-Cherry.

Tragvorrichtungen. Das Förderseil, von einer zweiten Windetrommel aus angetrieben, ist ebenfalls in sich geschlossen. Das Patent gehört der Trenton Iron Co. in Trenton, N. J. (Amerika).

Das Aufzugseil wird meist von besonderen Trägern aufgenommen. Bei den Ausführungen der Lidgerwood Co. in New York (Patent Miller) reiten die aus gutem Stahl gefertigten Träger auf einem Horn des Laufwerkes (Abb. 179). Sie werden von einem festgespannten Knotenseil, dessen Knoten für jeden Träger einen anderen Durchmesser haben, entsprechend den Öffnungen in den Trägern, abgenommen. Die Fördergeschwindigkeit ist dabei ohne Einfluß. Die Knoten werden zweiteilig, unter Einführung einer Nuß (Abb. 180) in das Seil, aufgebracht und zusammengeschraubt (Abb. 181). Die Lidgerwood'schen Seilträger sind viel leichter als z. B. die Roebling'schen, welche aus besonderen Rollen bestehen (Abb. 182), deren Hartholzlagerungen unter sich durch Rundeisenstangen verbunden sind. Bei anderen Ausführungen sind die Seiltragrollen unter sich durch Ketten oder Drahtseile verbunden. Die drei letztgenannten Seilträgerarten erfordern zur Verteilung der Träger eine gewisse Kraft, was bei der ersten Art nicht der Fall ist. Für 360 m Spannweite sind neun Lidgerwoodträger (zu 27 kg) in einem Gesamtgewicht von nur 243 kg notwendig.

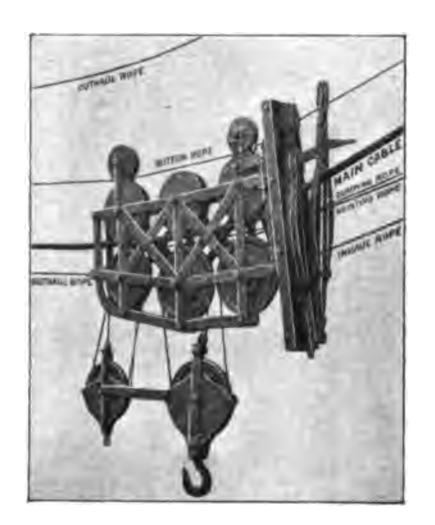


Abb. 179. Laufwerk Lidgerwood & Co.

Abb. 183 zeigt die für zwei feste Masten anwendbare Verladebahn, Patent Hall (Trenton Iron Co.), die besonders für das Ausgraben von Kanälen und Einschnitten geeignet, leicht auseinander genommen und wieder zusammengestellt werden kann. Auf einem Schlitten, der längs dem einen Kanalufer eingerichtet ist, wird der eine Mast *a* aufgestellt; der andere Mast *b* befindet sich in etwa 60 m Entfernung auf dem anderen Ufer fest aufgerichtet. Unter Umständen kann ein passender Baum die Stelle des festen Mastes versehen. Es ist ein Fördergefäß *o* vorhanden. An Pflöcken oder Baumstümpfen befestigte Zug- bzw. Spanntaue sichern die beiden Masten gegen Seitenschwankungen.

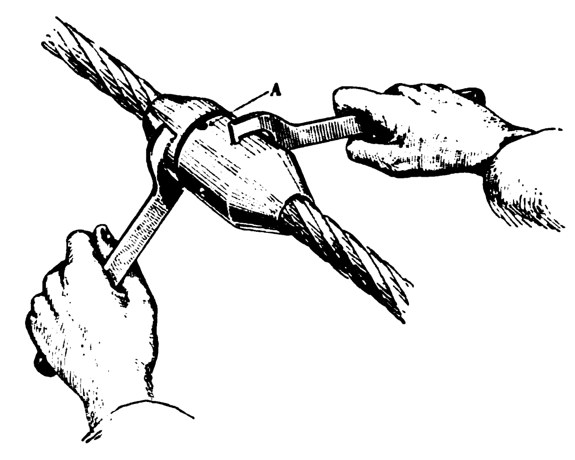


Abb. 180, 181. Metallknoten, Patent Miller.

Der Schlitten besteht aus ein Paar langen schweren Hölzern, auf denen ein

durch vier kurze Seile verankertes, den verschiebbaren Mast tragendes Holzkreuz liegt. Auf der anderen Seite des Schlittens liegt die Kraftquelle.

L ist das mit einem Anschlag (Buffer) *d* versehene Laufseil. *A* ist das über eine in der Grabensohle befestigte Rolle geführte Ladeseil, *B* das Aufzug-, *C* das Förderseil. T_A, T_B, T_C sind die zugehörigen Seiltrommeln.

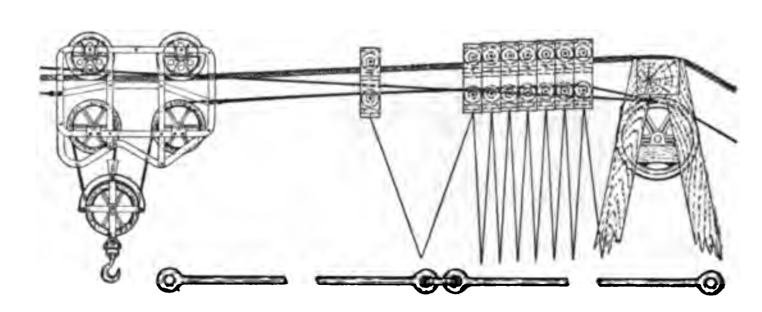


Abb. 182. Roebling's Laufkatze und Seilträger.

Der auf einer seiner flachen Seiten liegende Kübel *o* wird vom Ladeseil *A* über die Grabensohle geschleppt, bis er gefüllt ist, worauf ihn das Aufzugseil *B* hebt und die Klinke einfällt. Durch Anschlagen an *d* wird der Haken wieder ausgehoben, der Kübel entleert sich.

Das Verschieben des Hauptmastes geschieht mit Hilfe von Flaschenzügen, sowie der eigenen Dampfmaschinen. Auf zwei Stellungen des Hauptmastes kommt eine neue Stellung des Spannmastes. Der Hauptmast wird von 8 zu 8 m weitergeschoben.

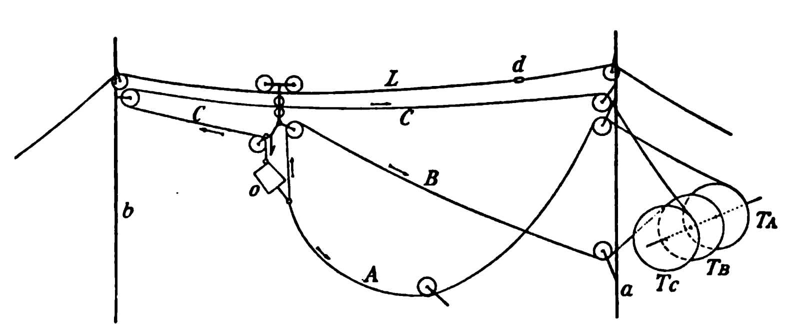


Abb. 183. Verladebahn, Patent Hall.

Abb. 184 zeigt eine Anordnung der Flory Manufacturing Co. in Bangor, Pa., dabei bedeutet: *s* das Laufseil, *z* das Zugseil und *a* das Aufzugseil; T_z und T_a sind die entsprechenden Fördertrommeln. Die Katze *k* trägt an der Flasche die Last *Q*. Die Rolle *r* ist fest am Laufseil. Das Laufwerk *w* trägt das Zugseil *z* und steht mit dem Gegengewicht *G* in Verbindung.

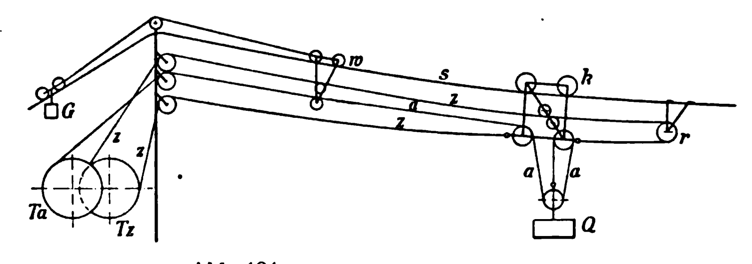


Abb. 184. Verladebahn der Flory Mfg. Co.

In Abb. 185 und 186 sind zwei Laufkatzen der Flory Manufacturing Co. dargestellt, und zwar gibt Abb. 185 das Laufwerk für eine gewöhnliche, wagrechte, Abb. 186 dasjenige für eine schiefe Seilbahn.

Die Lidgerwood'sche Seilbahn ohne Aufzugseilträger (Patent Miller, 1892,

Nr. 478348) braucht mehr Kraft als Bahnen mit Knotenseil und Seilträgern; sie hat sich deshalb nicht eingeführt.

Die zur Verwendung kommenden Betriebsmaschinen sind meist dampfbetriebene, welche mit ihrem Kessel und 2 oder 3 Trommeln auf der gleichen Grundplatte stehen.

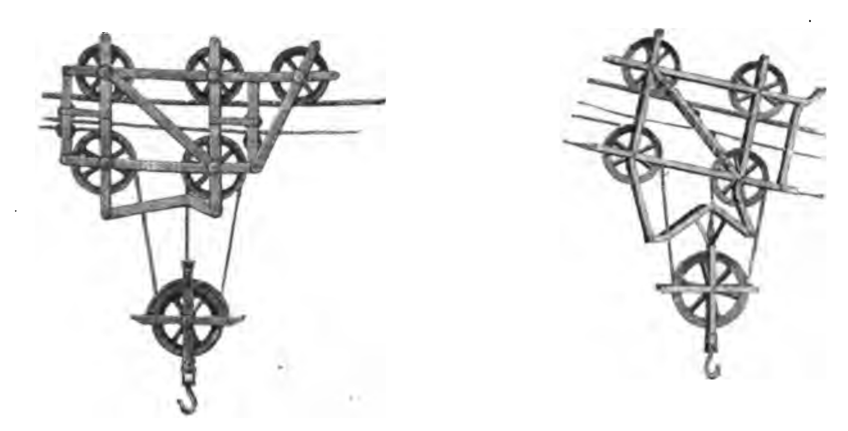


Abb. 185, 186. Laufkatzen der Flory Mfg. Co.

Die Trommeln werden mit Reibungskuppelungen versehen. So verwendet die Flory Manufacturing Co. Trommeln mit kegelförmiger Hülse, in welche die am Zahnrad befestigten Hartholzsegmente greifen. Die Bandbremsen sind ebenfalls mit Hartholzfutter versehen. J. S. Mundy, Newark, N. J., liefern die Fördermaschinen als Spezialität.

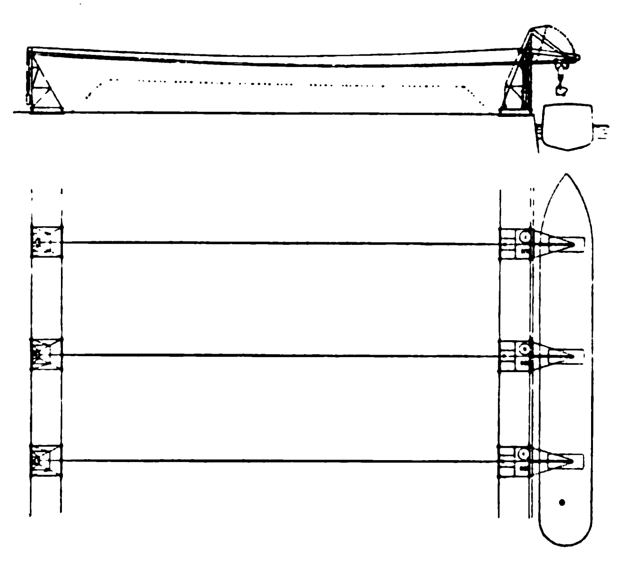


Abb. 187. Seilbahnen zum Entladen von Schiffen.

Abb. 187 zeigt drei gleichlaufende, auf bewegliche Türme gebaute Seilbahnen, die zur Entladung von Schiffen dienen.

Eine schwebende Bahn besonderer Art war die für den Bau der 153 m spannenden Zambesibrücke, unterhalb der Viktoria-Fälle, notwendig gewordene elektrische Seilbahn (Abb. 188). Die Bahn ist nach dem Patent von J. P. Brown jr. in Jersey City, N. J. (Kl. 35, Nr. 90743) von der Cleveland Bridge & Engineering Co. Ltd. in Darlington, England, ausgeführt. Ein Drahtseil von 69 mm Durchmesser, für 10 t Last berechnet, wurde über die Schlucht gespannt, nachdem mit Hilfe einer Rakete eine dünne Leine, an dieser eine stärkere usw. über den Fluß gezogen worden waren.

Auf einer Seite ruht das Seil mit Gelenk auf einem 12 m hohen, festen Turm *A*, auf der anderen Seite auf dem *A*-förmigen, 24 m hohen Träger *B*, der mit der Spitze

vom Fluß weggeneigt, auf seinen beiden Füßen je nach der Belastung pendeln kann. Die Spannweite von Stützpunkt zu Stützpunkt beträgt 265 m, die vom Eigengewicht des Seiles herrührende Einsenkung 1,95 m, diejenige mit einer Last von 10 t etwa

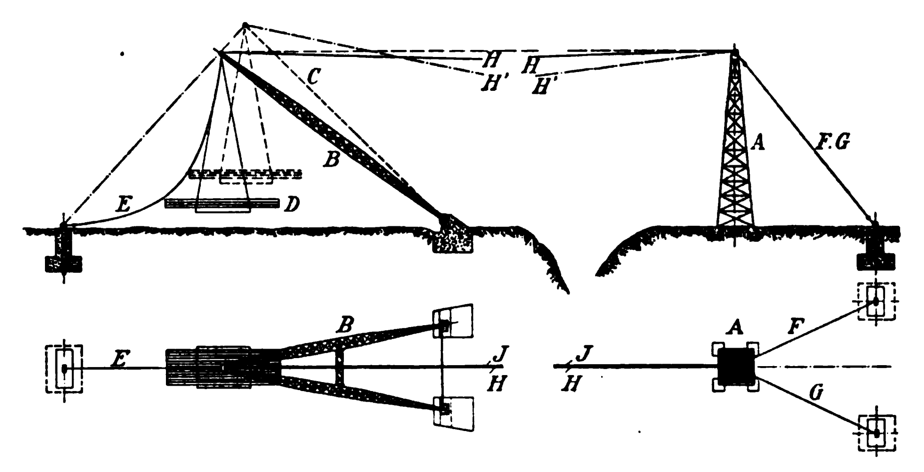


Abb. 188. Schwebende Bahn, Patent J. P. Brown jr. (Zambesi).

15,2 m. Auf dem Stahldrahtseil läuft ein an zwei Rädern hängendes Fahrzeug, welches mit einem Elektromotor ausgerüstet ist und die Ladung aufnimmt. Der mit Winden zum Heben und Senken der Last versehene Hängewagen wird von einem Mann bedient. Die Hubhöhe beträgt 92 m, die Motorenstärke 5 bis 60 PS. Der neben dem Seil gespannte Kupferdraht J gibt den in einer beweglichen Maschine erzeugten Strom ab. Täglich wurden 800 t Eisenbahnmaterial nach dem jenseitigen Ufer geschafft.

Das Zweibein ändert seine Stellung je nach dem Standorte der Last usw. Es steht am steilsten (Stellung C), wenn die Last in der Bahnmitte ist. Sobald sich die Last dem einen oder anderen Bahnende nähert, senkt sich B unter dem Einfluß des Gegengewichtes D, und die Neigung der Fahrbahn verringert sich zugunsten der Maschinenleistung. E ist das verankerte Kopftau von B; F und G sind Anker-

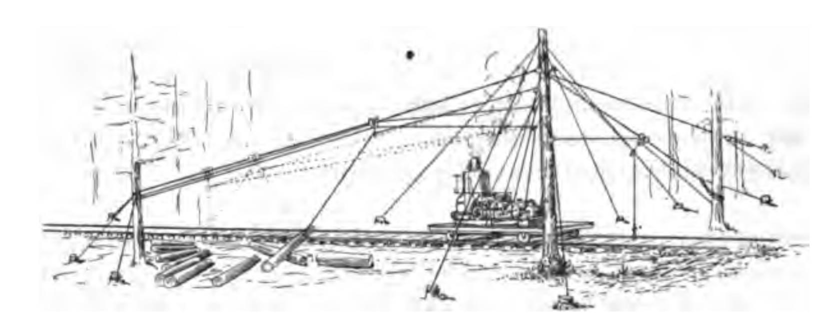


Abb. 189. Amerikanische Verladeseilbahn für Holz nach S. Flory.

taue von A. Das Fahrdrahtseil H ist unterhalb dem stromführenden Draht J gespannt. (S. Engineering 1904, p. 572; 1905, p. 137 und 572.)

Das Laden und Entladen von Schiffen (mit Masten) kann ebenfalls mit solchen Seilbahnen geschehen. Die Endbauten, sowie die den Umständen entsprechend in

etwa 30 m Entfernung eingebauten Unterstützungen können fest oder beweglich angeordnet sein. Wir stehen dabei auf dem Übergang zur schwebenden Seilbahn.

Abb. 189 zeigt eine dem Holztransport dienende amerikanische Verladeseilbahn nach Angabe von S. Flory Manufacturing Co. in Bangor, Pa.; Abb. 190 den Hauptmast, Abb. 191 den Spannmast, nach Angabe des gleichen Hauses.



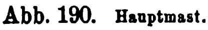


Abb. 190. Hauptmast.

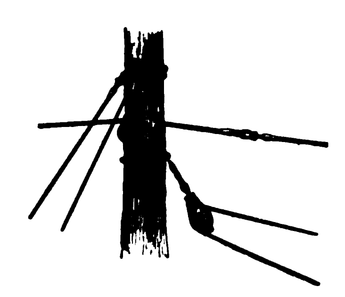


Abb. 191. Spannmast.

Kosten (für den Chicago-Entwässerungskanal gerechnet).

Ausgaben im Tag für:

Maschinist		11,55 Mk.
Heizer		6,93 „
Signaljunge		6,30 „
Brennmaterial ($1^1/_2$ bis 2 t)		16,80 „
Schmieröl usw.		1,13 „
		42,71 Mk.
Takelmeister	10,50 Mk.	
Gleisanlage	10,00 „	
		20,50 Mk.
Zusammen:		63,21 Mk.

1 cbm stellt sich durchschnittlich auf 16,4 bis 21,8 Pfennige.

Bei der Verladebahn nach Hall'scher Bauart belaufen sich die Tagesausgaben auf 50 Mk., Brennmaterial und Schmieröl inbegriffen; oder auf 35 Pf. für die Tonne Fördergut.

Leistungen. In der Stunde sind 50 Fahrten, bei angestrengtem Betriebe sogar 70 möglich. Von elf Arbeitsstunden entfallen acht auf wirkliche Arbeit.

Die Bauart Hall leistet täglich 190 bis 230 cbm, je nach der Materialbeschaffenheit, und benötigt dabei an Mannschaft: 1 Maschinist, 1 Heizer, 1 Handlanger, 1 Mann zur Überwachung des Fördergefäßes und zur Zeichengebung. Einige weitere Arbeiter setzen die neuen Masten und bereiten die Verankerungen vor.

Beispiele. Die größte Spannweite, 665 m, wurde von der Flory Manufacturing Co., Bangor, Pa., über den Allegheny-Fluß bei Tarentum, Pa., ausgeführt. Höhe der hölzernen Türme 30 und 24 m, Förderlast 2 t. Tagesleistung 200 t.

Eine andere Ausführung der gleichen Unternehmung überspannt den Morris-Fluß (Shawenegan Falls, Que.) mit 536 m. Die nur im Winter betriebene Seilbahn fördert Lasten von 5 t, im Tage 2500 bis 3000 Baumstämme. Im Sommer erreichen die Baumstämme das andere Flußufer schwimmend.

Eine dritte Ausführung kam für den Brückenbau in San José, Costa Rica, zur Verwendung. Die 300 m breite, 100 m tiefe Schlucht wurde von einer Verladeseilbahn überspannt und mit derselben Menschen und Zugvieh (letzteres zum Herbeischaffen der Hölzer) in die Tiefe gelassen und Material gehoben.

Bei Regulierung des Mississippi-Flusses hat die Trenton Iron Co. in St. Paul (Minnesota) eine Drahtseilverladebahn (System Laurent-Cherry) mit 350 m Spannweite und 5 t Nutzlast eingerichtet.

Eine der ersten europäischen Ausführungen sehen wir in der vom Haus Adolf Bleichert & Co. in Leipzig-Gohlis für die Unternehmung Joh. Busenitz Nachfolger in Danzig für deren neuen Kohlenlagerplatz in Schellmühl an der Weichsel eingerichteten, elektrisch betriebenen, fahrbaren Kabelbahn[49]). Statt der amerikanischen Reiter wurden an zwei besonderen Tragseilen leichte Holzstücke aufgehängt, auf welche sich das am meisten durchhängende Hubseil bei unbelasteter Flasche legt. Diese Anordnung, die sich sehr gut bewährt, gestattet hohe Katzengeschwindigkeit, während bei den amerikanischen Ausführungen die Fahrgeschwindigkeit durch die Stoßwirkung der Katze gegen die Reiter in niedrigen Grenzen gehalten wird. In der Steuerung ist eine Vorkehrung getroffen, daß die Kübel nicht über diesen Holzstücken gesenkt werden können. Die Hubgeschwindigkeit beträgt 90 m/Min., die Fahrgeschwindigkeit 320 m/Min. Ein Anzeiger für die Kübelbewegung ist im Kranführerhäuschen untergebracht.

Die Rechnung hat ergeben, daß der Suezkanal mit Hilfe von Drahtseilverladebahnen um 20 v. H. rascher und billiger, d. h. in acht, statt in zehn Jahren zu 300 Mill. Mk. statt zu 380 Mill. Mk. hätte hergestellt werden können.

§ 13. Beschickungseinrichtungen für Hochöfen. Der Lösung der Ausbildung mechanischer Beschickungsvorrichtungen für Hochöfen stellen sich außerordentliche Schwierigkeiten entgegen, denn es sind große Massen (bei den größten Öfen 4000 t in 24 Std.) auf beträchtliche Höhe (30, 40 und mehr Meter) zu fördern, wobei als erschwerender Umstand dazukommt, daß die Hochöfen selbst von einem ganzen Kranz kleinerer Gebäude umgeben sind. Die Fördereinrichtungen müssen das denkbar höchste Maß der Betriebssicherheit bieten, da Störungen das Verlöschen des Ofens zur Folge haben können, was großen Schaden nach sich zieht. Im weiteren soll Einrichtung und Bedienung einfach sein und Platz sowie Arbeitskräfte nach Möglichkeit gespart werden. Wir können zwei Arten von Beschickungsanlagen unterscheiden, nämlich:

1. Als Aufzüge, folglich mit unterbrochenem Betrieb arbeitende Beschickungseinrichtungen.

2. Ununterbrochen arbeitende Zuführungsbahnen.

Die Doppelgichtaufzüge der Unternehmung A. Bleichert & Co. (Pat. Nr. 149659) bestehen aus einer schräg ansteigenden doppelspurigen Fahrbahn, die bis über die Gichtglocke des Hochofens führt. Zur Beschickung dienen zwei Kübel von je etwa 3 cbm Inhalt. An der obersten Stelle wird der Kübel, welcher mit zwei Schildzapfen

[49]) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1905, Nr. 29, S. 1196.



in einem vierrädrigen Rahmen ruht, durch geeignete Schienenanordnung selbsttätig entleert. Der ablaufende Kübel dient zum Teil als Gegengewicht des auflaufenden. Die Kübel hängen mit Seilen, die in entgegengesetzter Richtung auflaufen, an einer elektrisch angetriebenen Trommel. Die Arbeitsgeschwindigkeit beträgt 0,75 m/sek. Abb. 192 zeigt in Hauptlinien das Kippen des Kübels. Die Vorderräder werden festgehalten, während der Hinterteil noch gehoben wird. Der Zugseilbügel ist am Boden des Fördergefäßes befestigt. Abb. 193 zeigt eine Selbstentladevorrichtung von

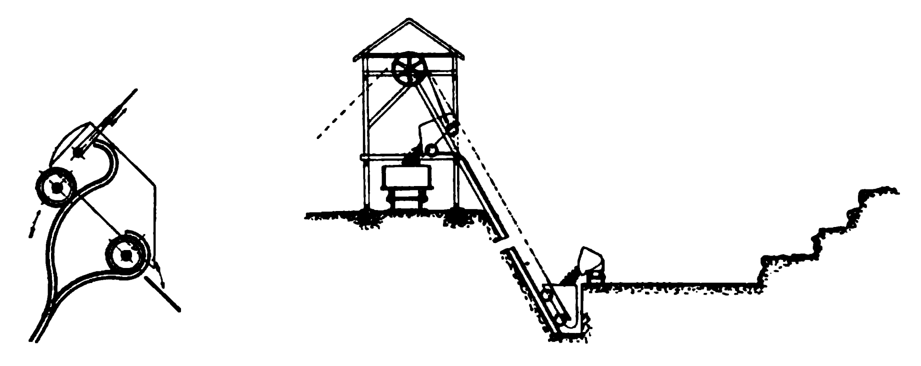


Abb. 192. Kippen des Kübels. Abb. 193. Selbstentladevorrichtung nach Heckel.

G. Heckel in St. Johann-Saarbrücken, die sich für Tagebau-, Braunkohlen und Eisengruben, Steinbrüche, Baggerarbeiten, Hochofen- und Haldenaufzüge eignet. Bei amerikanischen Gichtaufzügen[50]) werden die beiden Förderwagen oft übereinander geführt, wie in Abb. 194 dargestellt, indem zwei Spurweiten und zwei Wagenbreiten angeordnet werden.

Bei ununterbrochenem Betrieb der Beschickungsbahn werden die vermittels Eisenbahn oder auf den Grubenbahnen ankommenden Rohstoffe zunächst in große Vorratsrümpfe entladen. Die Seilbahnwagen gelangen auf entsprechend angeordneten Hängebahngleisen unter die Rümpfe, und das Gut wird aus letzteren unmittelbar in Seilbahnwagen abgezogen. Der Betrieb auf der Begichtungsbahn ist alsdann ein stetiger, indem sich Wagen auf Wagen in der vorgeschriebenen Entfernung folgt. Die Wagen werden um die Gicht der Hochöfen herumgeführt, daselbst durch Kippen der Kasten entleert und kehren hierauf zur Beladestelle zurück. Die Beschickung der Öfen ist dabei eine durchaus gleichförmige, die Herstellung der Möllerung aus den verschiedenen Erzsorten usw. bietet keine Schwierigkeiten; der Betrieb ist außerordentlich einfach, bequem und billig. Bisweilen wird eine Doppelbahn angeordnet, wobei aber nur eine Bahn betrieben wird, während die andere als Aushilfe dient.

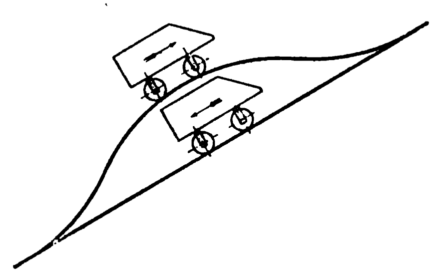


Abb. 194. Amerikanische Ausweiche.

Eine Seilbahn kann 70 bis 180 t/Std. bei etwa 150 m Länge leisten.

Die Gichtseilbahnanlage der Fentscher Hütten-Aktiengesellschaft Knenttingen

---

50) Stahl u. Eisen 1904, S. 625.

in Lothr. (ausgeführt von A. Bleichert & Co.) ist dadurch bemerkenswert, daß die Möllerplätze bzw. Erzrümpfe dicht neben den Hochöfen liegen, wodurch es notwendig wurde, die Gichtseilbahnen mit je einer um 180° drehenden Winkelstation auszurüsten. Die Erze werden in die Vorratsbehälter von einem über sie hinwegführenden Hochbahngleise aus den Eisenbahnwagen abgestürzt. Die Hängebahnwagen führen von den Rümpfen quer unter dieser Hochbahn durch, gelangen auf der Schrägbrücke zur Winkelstation, in der sie selbsttätig ihre Richtung ändern, um auf der zweiten Schrägbrücke nach der die Gicht der beiden Hochöfen verbindenden Bühne zu fahren. Die stündliche Leistung jeder Bahn, von denen eine als Aushilfe dient, beträgt 150 t.

§ 14. Schwebende Seilbahnen. Seilbahnen mit ununterbrochenem Betrieb für Personenbeförderung. — Schwebende Seilbahnen zur Personenbeförderung wurden von der Unternehmung Ceretti & Tanfani für die Ausstellungen in Mailand, Venedig, Genf, Turin und Wien ausgeführt. Sie bestanden der Hauptsache nach aus zwei Wagen für acht bis zehn Personen, welche bei Wechselbetrieb auf zwei nebeneinanderliegenden Seilen von 32 mm Durchmesser liefen. Hölzerne Gerüste von 8 bis 15 m Höhe unterstützten in Entfernungen von 160 bis 200 m die beiderseitig im Boden verankerten Tragseile. Das Zugseil von 10 mm Durchmesser erforderte bei 5 m Geschwindigkeit eine motorische Kraft von 12 bis 16 PS.

In Turin wurden in sechs Monaten 250000 Personen über den Po gesetzt.

Die 250 m lange Bahn der Wiener Ausstellung ist dadurch bemerkenswert, daß sie bei ununterbrochenem Betrieb, auf vier Stützen von 12 m Höhe ruhend, nach englischer Bauart angelegt war. Zehn Wagen zu zwei bis vier Personen liefen mit einer Geschwindigkeit von 1 m/sek. Die Betriebskraft betrug 10 PS; das 28 mm starke Seil ruhte auf Scheiben von 2800 mm Durchmesser mit schmiedeisernen Speichen. Die Kuppelungen waren nach Bauart Bellani. In vier Monaten wurden 400000 Personen befördert.

Für die Weltausstellung von 1900 in Paris haben Ceretti & Tanfani einen vollständigen Entwurf einer Seilbahn über die Seine ausgearbeitet. Dabei war eine einzige Spannung von 500 m vorgesehen, welche an 50 m hohen Türmen aufgehängt, von zwei Wagen für je 32 Personen befahren werden sollte. Die Bahn kam ebensowenig zur Ausführung wie die von Torres zwischen Pilatuskulm und Klimsenhorn projektierte.

In Zukunft dürfte diese Art Luftseilbahnen vielleicht eine Rolle spielen wie die Langen'sche Einschienenschwebebahn.

In England besteht über den Devil's Dyke (Teufelsgraben) in Brighton[51]) eine Seilbahn zur Personenbeförderung. Zwei Stützen tragen bei 198 m Entfernung ein Seil, an welchem verschieden lange ankerförmige Stahlgußstücke hängen. Letztere sind so angeordnet, daß die doppelte Fahrbahn, an welcher vierrädrige Wagen hängen, wagerecht ist. Die größte Höhe über dem Boden beträgt 70 m. Ein endloses Seil, von einem Petrolmotor getrieben, zieht die Wagen.

Bullivant & Co., Limited, haben in Hongkong eine nur für Personenbeförderung bestimmte Seilbahn gebaut, die seit einigen Jahren zur vollen Zufriedenheit arbeitet. Die Seilbahn hat den Zweck, eine Anzahl Europäer, die in einer Zuckerfabrik arbeiten, jeden Abend nach einem auf einer Anhöhe über der See gelegenen Sanatorium, und am Morgen wieder zur Arbeit zurück zu bringen. Es besteht nur ein auf eisernen Unterstützungen gelagertes Laufseil, das sich, wenn nicht belastet, aus

[51]) Vgl. Engineering 1894.

den Tragsätteln ausheben kann, aber durch drehbare Gabeln zurückgehalten wird. Das Zugseil, an welchem der sechs Mann fassende Wagen befestigt ist, geht durch die Mitte der Unterstützungen und wird seitlich, in Tragseilhöhe, zwischen zwei Rollen zurückgeführt. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt etwa 13 km/Std.

Eine andere Ausführung ist die für den Bau des neuen Leuchtturmes im Jahre 1900 zu Beachy Head von Bullivant & Co., Limited, in London errichtete Seilbahn[52]). Dieselbe bestand aus einer zweigleisigen, durch ein endloses Seil bedienten Anlage, welche 4 t schwere Blöcke über die 220 m lange ($h = 122$ m) Seilstrecke beförderte.

Auf jedem Seil war ein Laufwerk, von denen eines so eingerichtet war, daß Steine mittels Ketten darangehängt werden konnten. Das andere trug ein Gefäß (Abb. 195)[53]) für 2 t Ballast oder Mörtel und einen hölzernen Kasten mit Türen, in welchem zwölf Arbeiter Platz fanden. Ein ähnlicher Kasten konnte auch am anderen Laufwagen angehängt werden. Das Laufgestell bestand aus vier Stahlrollen, von denen je zwei, zur gleichmäßigen Verteilung des Druckes auf das Seil, zusammen in einer Verbindung gelagert waren. Die Tragseile hatten 42 und 44 mm Durchmesser. Der Antrieb erfolgte vom oberen Streckenende aus. Unten im Wasser war ein Eisengerüst, auf welchem Material gelagert wurde, und das auch einen Dampfdrehkran trug.



Abb. 195. Beachy Head Seilbahn.

§ 15. Hängebahnen, Elektrohängebahnen. — Die Hängebahnen sind eine besondere Art der Seilbahnen. Die bereits bei den Stationen erwähnten Hängebahnschienen werden oft als Bahnanlage für Handbetrieb erweitert, bei größeren Längen und geraden Strecken aber auch mit Seilbetrieb eingerichtet. Solche Hängebahnen dienen zur Beförderung in Fabriken und zur Verbindung der einzelnen Gebäude unter sich; dabei bleibt der Boden frei und wird bei entsprechender Höhenlage der Schienen (2 bis 3 m über dem Boden) der Verkehr unter denselben in keiner Weise gestört. Als Schienen kommen entweder Flacheisen oder gewalzte Schienen mit Doppelkopf zur Verwendung. Bei 100 bis 150 mm Schienenhöhe beträgt die Kopfbreite 25 bis 40 mm. Die Stahlschienen werden mittels gußeiserner oder schmiedeeiserner Träger alle 3 bis 5 m freischwebend aufgehängt und kommen zur Befestigung mit Vorteil Decken- und Dachkonstruktionen, sowie Umfassungswände von Gebäuden zur Verwendung; auf freien Plätzen aber Eisen- oder Holzgestelle.

Auf einer Hängebahn kann ein Arbeiter doppelt so schwere Lasten fahren wie auf einer Schienenbahn zu ebener Erde, und vier- bis fünfmal soviel als bei Karrenbetrieb. Sind mehrere Stockwerke eines Fabrikgebäudes mit Hängegleisen versehen,

52) Engineering, Jan. 11th 1901.

53) Photographie Eigentum von Bullivant & Co.



so kann die Verbindung derselben von einem Stockwerk zum anderen und, wenn nötig, ein vollständiger Kreislauf der Wagen im ganzen Werk auf einfache Weise mittels Fahrstuhl bewerkstelligt werden. Durch Einführung der Klappweichen (D. R. P. 81 674 und 86 259) der Unternehmung A. Bleichert & Co. ist der Betrieb derartiger Hängebahnen wesentlich vereinfacht worden und können selbst die schwierigsten Anlagen mit großer Geschwindigkeit befahren werden, ohne daß die Wagen entgleisen.

In Abb. 196 und 197 sind die für Hängebahnen sehr geeigneten Kurvenscheiben von Wilhelm Fredenhagen in Offenbach a. Main dargestellt. Der Seilbahnwagen setzt sich nach Verlassen der Schiene bei Drehrichtung nach links (Abb. 196) mit dem Laufgestell, bei Drehrichtung nach rechts (Abb. 197) mit einem besonderen

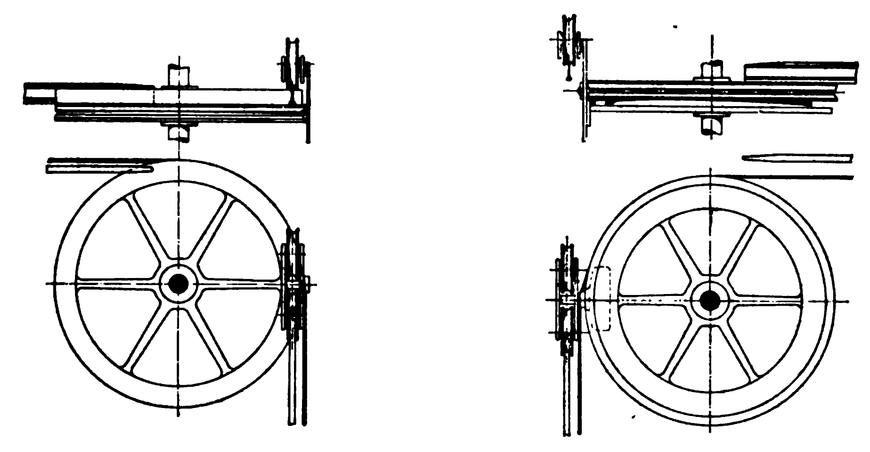


Abb. 196, 197. Kurvenscheiben nach Fredenhagen.

Anschlag auf die Seilscheibe, so daß diese als Drehscheibe wirkt. Wie die Scheiben in Krümmungen, so können auch die Endscheiben (Antrieb- und Umkehrscheibe) als Drehscheiben hergestellt werden, damit die Führung der Seilbahnwagen vollständig selbsttätig stattfindet.

Die Anlagekosten der Hängebahngleise belaufen sich je nach dem vorliegenden Falle auf 4 bis 12 Mk./m.

Elektrische Hängebahnen[54]) oder Telpherlinien, wie dieselben von den Erfindern, Prof. Fleming Jenkin und Prof. Perry, genannt werden, dienen zum selbsttätigen Transport leichter oder leicht teilbarer Stoffe auf irgend eine Entfernung, sei es oberirdisch, auf der Erde oder unterirdisch. Einige der ersten Einrichtungen (in England) sind noch jetzt im Betrieb. In fast allen Fällen bestanden sie aus einer Seilfahrbahn, auf welcher die selbsttätig bewegten Teile eine unter ihnen aufgehängte Last trugen.

Nach Ausführungen der United Telpherage Company in New York werden die Laufseile durch an Pfosten oder Gebäuden befestigte Arme getragen, sowie durch Zwischenunterstützungen, welche in Form von henkelartig gekrümmten Trägern an Hilfsseilen hängen, an zu großen Einsenkungen verhindert. Auf offenem Gelände sind A-förmige Stützen (Abb. 198) aufgestellt. Krümmungen erhalten statt des Seiles Schienen und auch die Stromzuführung erfolgt dort durch eine Schiene. Die Wagen sind mit zwei $^1/_2$ bis 7 PS langsam laufenden Motoren (single unit Telpher) oder mit

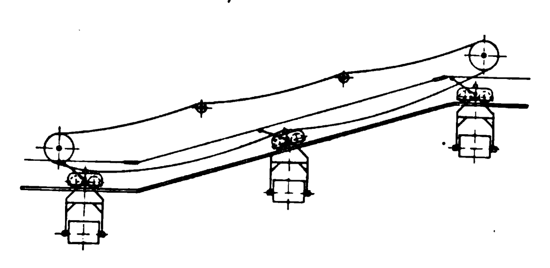
[54]) Vgl. Schweiz. Bauztg., Bd. III, Nr. 21. Ebenso Zeitschr. d. V. d. Ing. 1886, S. 929 u. f.

vier 8 bis 12 PS Motoren (double unit Telpher), welche auf der Triebradachse sitzen, versehen. Die Geschwindigkeit kann durch Auswechseln der Laufräder geändert werden. Der von irgend einem Beleuchtungs- oder Kraftnetz bezogene Strom wird von den Wagen durch Bügel oder Rollen abgenommen; die Rückleitung erfolgt durch die Fahrbahn.

Abb. 198. Träger auf offener Strecke.

Die von der vielerfahrenen Unternehmung A. Bleichert & Co., A.-G., ausgeführten Elektrohängebahnen stellen ganz neue Lösungen in diesem Sondergebiet dar. Es werden fast ausschließlich Schienenfahrbahnen verwendet, weil den Drahtseilen immer der Nachteil anhaftet, daß sie unter dem Einfluß der Last durchhängen, so daß ein Wagen auf dem Seil fortwährend Steigungen und Gefälle zu durchlaufen hat. Er braucht infolgedessen mehr Kraft als ein Wagen auf der Schienenbahn, da kein Ausgleich stattfindet wie bei einer eigentlichen Drahtseilbahn. Lasten von 300 bis 1200 kg, vorteilhaft aber nur 500 bis 700 kg können mit 0,5 bis 2,5 m/sek. befördert werden.

Bei der Elektrohängebahn hat die Rücksicht darauf, daß das Gewicht der Motoren und der Laufwerke niedrig zu halten ist, dazu geführt, den Motor und das Laufwerk nicht mehr leisten zu lassen als nur die reine Reibungsarbeit, die durch das Fahren auf wagrechter Strecke bedingt ist. Nach der Bleichert'schen Bauart[55]) werden da, wo senkrechte Aufzüge vermieden werden sollen, und zur Überwindung von Höhenunterschieden auch nicht die ganze Bahn ansteigen soll, auf kurze Strecken Schrägbahnen eingelegt, die eine solche Neigung haben, daß die Laufräder eben auf den Schienen bleiben und das Gehänge mit dem Wagenkasten noch genügend Raum unter der Schiene zum Pendeln hat. Diese kurzen Steigungen werden dann auch ganz unabhängig vom Antriebmotor der Wagen dadurch überwunden, daß mit der Laufschiene gleichlaufend ein ständig bewegtes Zugorgan: Drahtseil (oder Kette) gelegt wird, das sich im tiefsten Punkte der Schrägbahn selbsttätig in einen mit dem Laufwerk verbundenen Greifer einführt und die Last über die Steigung hinwegschleppt, während die Eigenmotoren des Wagens abgeschaltet werden (Abb. 199). Am oberen Ende kuppelt sich das Seil wieder selbsttätig aus, während der Strom zum Wagenmotor eingeschaltet wird. Durch diese vollständige Trennung von Hebearbeit und Reibarbeit fallen die Wagenmotoren sehr klein aus.


Abb. 199. Steilrampe.

§ 16. Betrieb und erforderliche Arbeit. Anlagekosten. Die aufzuwen-

[55]) Vgl. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1904, S. 1770.



dende Gesamtarbeit ist abhängig von der Länge der Strecke, von dem Höhenunterschied, der Zapfenreibung der Wagenlaufwerke und der rollenden Reibung der Laufräder auf den Seilen. Die Laufseile werden deshalb auf ihrer oberen Seite von Hand, oder mechanisch durch eine mit dem Laufwerk eines Förderwagens verbundene Vorrichtung geschmiert. Bezeichnet:

$2n$ die Gesamtzahl der leeren und beladenen Fahrzeuge der Seilbahn,
D den Durchmesser der Laufrollen in mm,
d den Zapfendurchmesser in mm,
q das Eigengewicht eines Wagens nebst Kuppelung und Laufwerk in kg,
Q das Ladegewicht des Wagens in kg,
q_s das Gewicht des Zugseiles für das laufende Meter in kg,
a die Entfernung zweier Wagen im Betrieb in m,
f_z die Zapfenreibungsziffer,
f_r die Verhältniszahl der rollenden Reibung für den Durchmesser D in mm,
W den Widerstand aller Wagen für eine wagrechte Strecke, oder eine Strecke, bei welcher die beiden Endpunkte in einer wagrechten Ebene liegen,

dann ist:

$$W = \frac{1}{D}(nq + nQ + nq_s a) \cdot (f_z d + 2f_r) + \frac{1}{D}(nq + nq_s a) \cdot (f_z d + 2f_r) \quad \text{oder auch}$$

$$W = \frac{1}{D}(2nq + nQ + 2nq_s a) \cdot (f_z d + 2f_r).$$

Nach Angabe von Bleichert kann der Widerstandskoëffizient, also $\frac{f_z d + 2f_r}{D}$ für neue Bahnen zu $1:100$ und für eingelaufene Wagen zu $1:250$ angenommen werden; $f_z = 0{,}015$ und $f_r = 0{,}2$ bei guter Schmierung. Bildet die Verbindungslinie der beiden Endstützpunkte mit der Wagrechten einen Winkel α, so ist der Gesamtwiderstand W_1 aller Wagen:

$$W_1 = \frac{1}{D}(nq + nQ + nq_s a) \cdot (f_z d + 2f_r)\cos\alpha \pm (nq + nQ + nq_s a)\sin\alpha + \\ + \frac{1}{D}(nq + nq_s a) \cdot (f_z d + 2f_r)\cos\alpha \mp (nq + nq_s a)\sin\alpha$$

und hieraus:

$$W_1 = \frac{1}{D}(2nq + nQ + 2nq_s a) \cdot (f_z d + 2f_r)\cos\alpha \pm nQ\sin\alpha.$$

Das obere Zeichen gilt für beladene Wagen bergwärts, das untere für dieselben talwärts fahrend. Aus der letzten Gleichung ergibt sich ferner, daß der Zugwiderstand zu Null wird, wenn:

$$nQ\sin\alpha \geqq \frac{1}{D}(2nq + nQ + 2nq_s a) \cdot (f_z d + 2f_r)\cos\alpha,$$

$$\operatorname{tg}\alpha \geqq \frac{1}{D} \cdot \frac{(2q + Q + 2q_s a) \cdot (f_z d + 2f_r)}{Q}$$

ist. Hat der Winkel α den vorstehenden Wert, so ist, wenn die beladenen Wagen talwärts fahren, keine Kraftanlage mehr notwendig; die Anlage wird zur Bremsseilbahn.

Bezeichnet v die Wagengeschwindigkeit in m/sek., so ist die widerstehende Arbeit in PS gleich:

$$N = \frac{v}{D} \cdot \frac{(2nq + nQ + 2nq_s a) \cdot (f_z d + 2 f_r) \cos\alpha \pm n v Q \sin\alpha}{75}.$$

Wird $\frac{f_z d + 2 f_r}{D} = \frac{1}{250}$ gesetzt, so folgt

$$N = \frac{nv}{250}\left(\frac{(2q + Q + 2q_s a)\cos\alpha}{75}\right) \pm \left(\frac{nvQ\sin\alpha}{75}\right).$$

Für Seilbahnen nach Bleichert'scher Bauart ist die Betriebskraft annähernd:

$$N = \frac{Q}{270}\left\{\frac{l}{100}\left[2 + 0{,}005\,(100 - Q)\right] \pm h\right\} + N_0,$$

wobei:

l die Bahnlänge in m,
Q die Leistung in t/Std.,
h der Höhenunterschied der beiden Endpunkte (+ bei aufwärts gehender Last, — bei abwärts gehender),
N die Betriebskraft in PS,
N_0 eine Unveränderliche für Reibung in den Endstationen, gleich 0,5 bis 5.

Bremsseilbahnen. Wenn die Größe des Steigungswinkels eine solche ist, daß

$$\operatorname{tg}\alpha > \frac{f_z d + 2 f_r}{D} \cdot \frac{(2q + Q + 2q_s a)}{Q},$$

so braucht eine besondere Kraftmaschine nicht angewendet zu werden. Die überschüssige Kraft wird auf der Endstation vernichtet. Eine Steigung von 1 : 22 = 4,5 v. H. gibt schon eine geringe überschüssige Kraft.

Besondere Windevorrichtungen kommen zur Anwendung, wenn die Bahn nach stattgefundener Ausbesserung wieder in Bewegung gesetzt werden soll. Zum Ankuppeln, Beladen und Entladen der Wagen befinden sich auf den Stationen gewöhnlich zwei Mann. Die Strecke bedarf keines Dienstpersonals zur ständigen Wartung.

Leistungsfähigkeit. Die Drahtseilbahnen eignen sich für eine Förderung von 5 bis 120 Tonnen in der Stunde. Es ist empfehlenswert, die Fahrzeuge in Zeitabschnitten von 20 Sek. sich folgen zu lassen (drei Wagen in der Minute). Bei Fördermengen von mehr als 800 t täglich — in zehn Arbeitsstunden — empfiehlt sich die Doppelseilbahn, bei geringen Fördermengen dagegen eingleisige, bzw. einseilige Ausführung. Die Förderkosten belaufen sich je nach Umständen auf 10 bis $2^1/_2$ Pfennige für das Tonnenkilometer.

Anlagekosten. Dieselben betragen je nach den Bodenverhältnissen, dem in Frage kommenden Fördergut, der Höhe der Förderung und der Größe der Einzellasten usw. etwa 12000 bis 60000 Mk. für das km. Bei Überschreitung fremder Grundstücke wird in den meisten Fällen ein Streifen von 4 bis 5 m Breite längs der Bahnlinie gepachtet. Die Bestellung dieses Streifens bleibt den Besitzern überlassen, nur ist ein Pfad längs der Strecke, zur Begehung derselben, frei zu geben. Der Pachtzins richtet sich nach dem betreffenden Landesteil.

Allgemeine Preisangaben sind nicht gut zu machen, da örtliche Verhältnisse eine große Rolle spielen. Bei flachem Gelände und unter gewöhnlichen Umständen

können die Preise der nachstehenden Tabelle von A. Bleichert & Co. entnommen werden. Die fettgedruckten Zahlen bezeichnen die Kosten der gesamten Eisenteile, einschließlich der Wagen, in Mark (für 1 m Bahnlänge). Die besonders zu berechnenden Kosten für Holzarbeiten und Einrichtung der Linie, welche von den jeweiligen Verhältnissen abhängen, betragen bei Durchschnittsbahnen etwa 4 Mk./m. Die zweite Zahlenreihe gibt die Förderkosten für 10 t (in Mark), mit Einschluß der Verzinsung des Anlagekapitals, der gesamten Unterhaltungskosten, der Bedienungsmannschaft, sowie der Bodenmiete für gebräuchliche Durchschnittspreise.

Länge der Bahn	Tägliche Förderung in Tonnen zu 1000 kg				
m	100	200	300	400	500
500	**15,00** 0,92	**16,50** 0,62	**18,00** 0,53	**20,50** 0,48	**22,00** 0,47
1000	**12,50** 1,20	**14,25** 0,82	**16,25** 0,65	**18,00** 0,60	**19,25** 0,54
2000	**11,25** 1,70	**13,50** 1,12	**15,50** 0,90	**17,00** 0,78	**18,75** 0,75
5000	**10,75** 2,95	**13,00** 2,00	**14,75** 1,55	**16,50** 1,35	**18,25** 1,20

Nachfolgende Tabelle gibt die notwendige maschinelle Kraft und die ungefähren Kosten (ohne Betriebsmaschine und Beförderung) für das Kilometer Bahnlänge bei deutscher Bauart (Angaben von Ceretti & Tanfani, Mailand).

Fördermenge in Tonnen in der Stunde	Erforderl. PS. für wagrechte Bahn	Erforderl. PS. für Steigung 1 : 3	Nötiges Gefäll, damit die Bahn selbsttätig sei	Kosten	
				für wagrechte Bahn Mark	für eine Steigung von 1 : 3 Mark
10	$3\,L$	$15\,L$	1 : 9	$L \times 8800 + 2400$	$L \times 10000 + 4000$
20	$4\,L$	$30\,L$	1 : 15	$L \times 12000 + 3200$	$L \times 13200 + 5600$
40	$6\,L$	$60\,L$	1 : 22	$L \times 15200 + 4000$	$L \times 16800 + 7200$
60	$9\,L$	$90\,L$	1 : 23	$L \times 18400 + 4800$	$L \times 20000 + 11200$

Dabei ist L die Länge der Bahn in Kilometern. Ceretti & Tanfani geben für Bahnen englischer Bauart, bei Längen bis zu 4 km, einer täglichen Fördermenge von nicht mehr als 20 t und geringen Steigungen folgende Tabelle:

Fördermenge in Tonnen in der Stunde	Erforderliche PS. für wagrechte Bahn	Kosten in Mark
5	$2{,}5\,L$	$L \times 5200 + 2000$
10	$4{,}0\,L$	$L \times 6000 + 2800$
15	$6{,}0\,L$	$L \times 6800 + 3600$
20	$8{,}5\,L$	$L \times 7600 + 4400$

Abb. 200 zeigt als Beispiel größerer Ausführungen eine Spannweite von 800 m, hergestellt von der Unternehmung J. Pohlig in Köln-Zollstock für die Gesellschaft des Tonwerkes zu Friedrichssegen an der Lahn. Die Bahn hat eine gesamte Länge von 2160 m mit einem Gefälle von 1 : 10.



Abb. 200. Seilspannweite von 800 m.

§ 17. Feldmann's Bergaufzug[56]. Die Erfindung von Regierungs-Baumeister a. D. † Feldmann (D. R. P. Nr. 143075) stellt eine neue Bahnart für steile Felswände dar, ausführbar, wo andere Bahnarten nicht, oder nur mit großen, jede Ertragsfähigkeit ausschließenden Herstellungs- und Betriebskosten möglich sind.

Das Gelände zwischen den Stationen wird in keiner Weise beansprucht, da keine starren Schienen, sondern in ihrer ganzen Länge frei schwebende Führungsseile die federnden Gleise bilden. Die Anordnung der Führungsseile kann verschieden sein, z. B. ein einziges Seil mitten über dem Wagen, an welchem der letztere mit einer oder zwei Rollen aufgehängt ist; oder zwei Führungsseile nebeneinander, je eine oder zwei Rollen zu beiden Seiten des Wagens. Auch vier Führungsseile können nebeneinander angeordnet werden. Bei mehreren Seilen nebeneinander kann leicht durch Voreilen des einen Rades oder durch ein Schrägstellen des Wagens ein Schleifen der Seile an den Radflanschen eintreten. Dieser Übelstand wird durch Anordnen von zwei übereinanderliegenden Seilen beseitigt. Die Führungsseile werden oben verankert, unten durch Gewichte gespannt und einzeln von festen Teilen der Wagen rings umfaßt. Ein Lösen des Wagens, bzw. Entgleisen desselben ist unmöglich. Die kippsichere Unterstützung des Wagens geht selbst bei Bruch des einen Seiles nicht verloren. Nach oben nimmt die Spannung in den Führungsseilen infolge des Eigengewichtes derselben zu. Leichte oder schwere Wagen beeinflussen die Seilspannung nicht, wohl aber den Seildurchhang. Abb. 201 zeigt den Kräfteplan für Führungs- und Zugseile. Dabei bedeuten: a Gewicht der Führungsseile unterhalb des Wagens, b Gewicht der Führungsseile oberhalb des Wagens, c Gewicht des Zugseiles, d Wagengewicht, e Druck des Wagens auf die Führungsseile, f Spannung der Zugseile am obern Ende, g Spannung der Zugseile am untern Ende, h Spannung der Führungsseile am obern Ende, i Spannung der Führungsseile oberhalb des Wagens, k Spannung der Führungsseile unterhalb des Wagens, l Spannung der Führungsseile am untern Ende = Spanngewicht. Die Linien f, g, h, i, k, l entsprechen der Neigung der Seile. Die Spannungen i und k sind gleich. Die Spannung h wird von der Kraft e nicht beeinflußt.

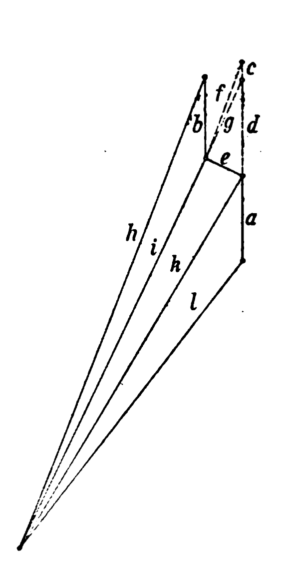


Abb. 201. Kräfteplan.

Abbildung 202 gibt in schematischer Darstellung die Anlage eines Bergauf-

56) Berg-Seilaufzug. Zentralbl. d. Bauverwaltg. 1902, S. 477 u. f.

zuges. *a* und *b* sind Betonklötze zur Verankerung; *z* ist das Zugseil. Die Führungsseile F_1 und F_2 sind durch einen Winkelhebel mit dem Spanngewicht *s* verbunden, wodurch ein sich längendes Seil entlastet wird, indem sich der Schwerpunkt des Gewichtes verschiebt. *H* kann bis zu 600 m erreichen. Die glatte Oberfläche der in verschlossener Bauart hergestellten Führungsseile, die Abwesenheit von Schienenstößen usw. gewährleisten eine ruhige Fahrt. An der Wetterhornbahn sind Seile von 44 mm Durchmesser verwendet. Auch für die projektierten Bergaufzüge sollen gleiche zur Anwendung kommen. Die Bruchfestigkeit beträgt 130 kg/qmm, die rechnerische Bruchfestigkeit eines Seilpaares 330 t. Die größte Seilbeanspruchung beläuft sich auf 30 t. Das Spanngewicht eines Seilpaares wiegt 20 bis 25 t. Bei den geschlossenen Seilen tritt kein Längen ein, die Abnützung ist gering, ebenso der Kraftverbrauch. Die Seilsteifigkeit wirkt nur günstig. Seitenwind ist ohne großen Einfluß und um so geringer, je langsamer die Pendelschwingungen des Wagens sind. Die Bewegungen des ganzen Seiles sind sehr langsam und werden durch den seine Stellung immerwährend ändernden Wagen abgeschwächt. Da die Fläche des Wagens oberhalb des untern Seiles fast eben so groß ist wie diejenige unterhalb desselben, so spielt der Winddruck keine zu bedeutende Rolle.

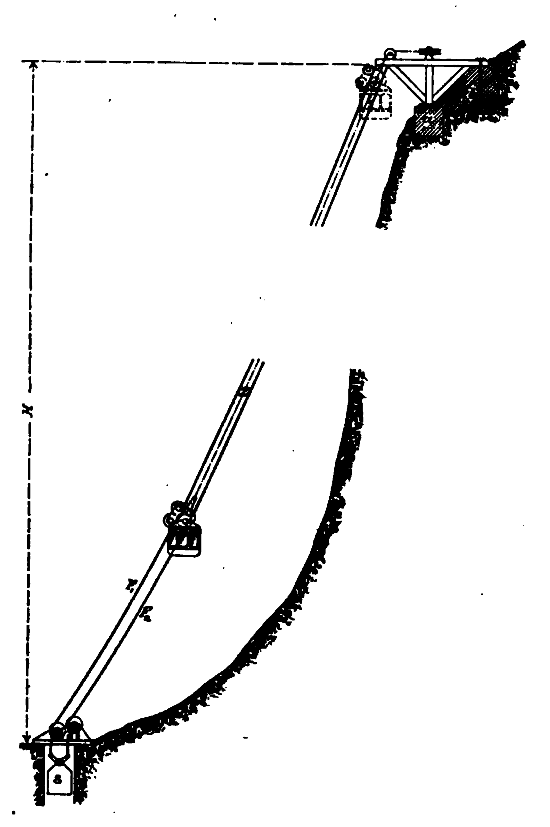


Abb. 202. Bergaufzug.

Zugseile. Es bewegt sich immer ein Wagen bergwärts, während der andere talwärts fährt, so daß die Last zum großen Teil ausgeglichen wird. Der Einfluß des Zugseileigengewichts nimmt nach unten zu, der Wagengewichtseinfluß nach oben, wodurch ein ziemlich günstiger Ausgleich zustande kommt. Der Seilzug ist vom Neigungswinkel der Tragseile abhängig. Die Zugseile sind auf ihre ganze Länge frei hängend als Doppelseile ausgebildet und durch einen Winkelhebel mit dem Wagen verbunden (Abb. 204). Bei Längung wird, wie bei den Führungsseilen, das sich längende Seil durch den Winkelhebel entlastet.

Die Wagen können in beliebiger Größe gebaut werden, doch dürfte der in den Abb. 203 bis 205 dargestellte für die meisten Aufzüge ausreichen. Er enthält 8 Sitz- und 14 Stehplätze sowie einen Führerstand. Der Wagenkasten ist mit einem dreirädrigen Radgestell gelenkartig verbunden; die schaukelnden Bewegungen werden durch aufeinander reibende Flächen erschwert. Das Dach ist mit einem Geländer versehen, so daß jederzeit das Laufwerk sowie die Bremsen geprüft werden können. Überdies eignet sich das Dach zum Befördern von Gepäckstücken. Als Fangvorrich-

tungen können die meisten bei Schachtförderungen angewendeten benutzt werden. Die vom Wagenführer zu bedienende Handbremse wirkt durch beiderseitiges Einschieben von schlanken Fangkeilen. Das Durchbiegen der Führungsseile federt den Stoß ab. Im Notfalle kann ein Hilfswagen, der beim Bau verwendet wurde und in der oberen

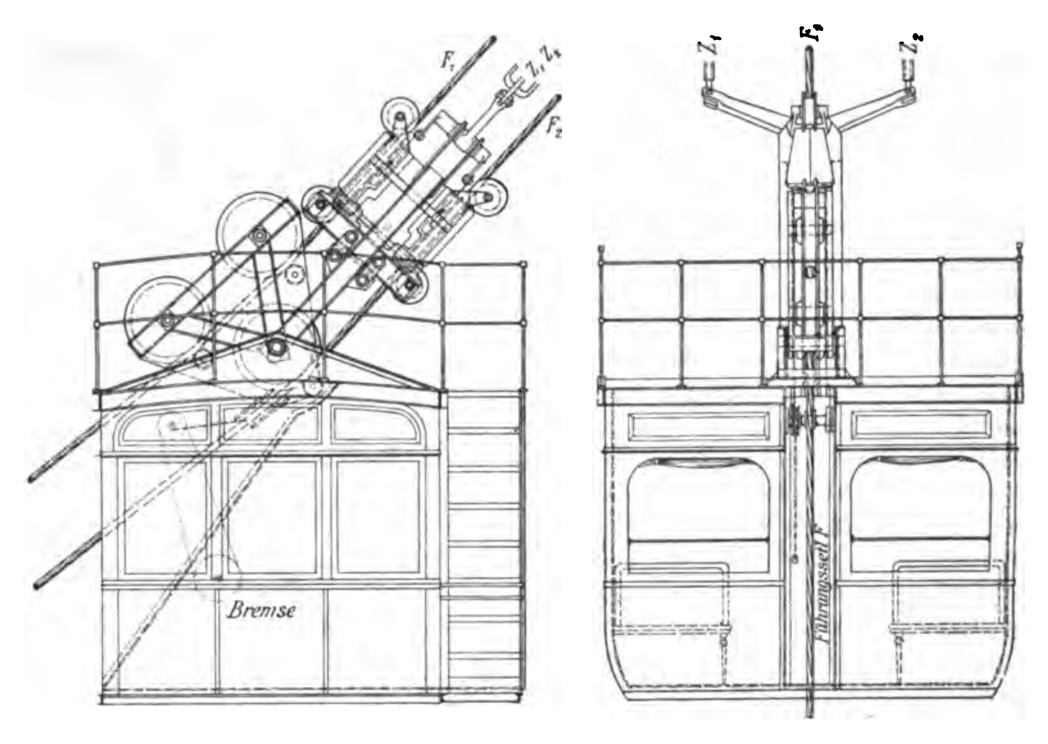


Abb. 203, 204. Wagen.

Station unter Dach steht, dazu benutzt werden, um die Reisenden in kleinen Trupps nach der oberen Station zu schaffen.

Der Bau wird von oben herab vorgenommen. Zuerst wird ein dünnes Seil verwendet, an welchem 1 bis 2 Arbeiter im Förderkorb herabgelassen werden, um die Schleppbahn für die Führungsseile vorzubereiten. Für den Bau tritt eine Handwinde in Betrieb.

Abbildung 206 und 207 zeigen die untere Stationsanlage. *W* ist der Wagen, *S* das am Winkelhebel befestigte Spanngewicht. Im Raume *A* nimmt der Schaffner des angekommenen Wagens seinen Fahrgästen die Fahrkarten ab. Im Raume *B* werden die Fahrkarten verkauft. *c f* und *g h* sind Schranken, welche den Warteraum abschließen.

Der Warteraum ist für sicheres und schnelles Ein- und Aussteigen eingerichtet. Die Türen nach dem Wagen hin sind abgeschlossen. Beim ankommenden Wagen wird von der Gallerie vor der Wagentüre die Seitenschranke heruntergelassen, wodurch ein etwa vorhandener Höhenunterschied ausgeglichen und der Verschluß nach dem Warteraum gelöst wird. Die Wagen folgen sich in Zeiträumen von 10 bis 15 Minuten. In den Stationen sind die Wagen durch ein Dach geschützt.

Die in Abb. 208 und 209 dargestellte obere Station enthält die Maschinen-

anlage. Der Betrieb kann durch Wasserübergewicht, Dampf-, Gas- oder elektrische Kraft erfolgen. Die Regelung der Fahrgeschwindigkeit geschieht in gleicher Weise wie bei den gewöhnlichen Seilbahnen zur Personenbeförderung. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt etwa 2 m/sek., so daß sich für die höchsten Aufzüge von 700 m eine Fahrzeit von $6^1/_2$ Minuten ergibt. Es können somit bei stündlich 8 Fahrten auf- und abwärts 176 Personen in jeder Richtung befördert werden. Sind zwei Aufzüge direkt übereinander gebaut, so können dieselben als Doppelaufzug betrieben werden. Das Gleis wird alsdann einspurig verlegt, der Antrieb erfolgt vom obern Ende aus; auf der Zwischenstation muß umgestiegen werden. Der gesamte Höhenunterschied darf bis zu 1200 m betragen.

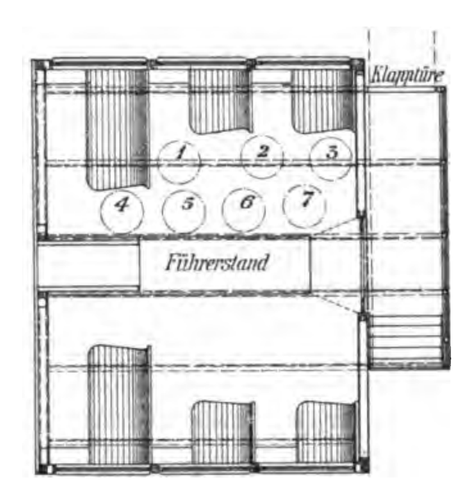


Abb. 205. Wagen (Grundriß).

Anlage-, Betrieb- und Unterhaltungskosten. Es liegt auf der Hand, daß die Kosten für die Bahnanlage, da der Bahnkörper nur aus vier Drahtseilen besteht, und die Bahnlänge nicht wesentlich größer ist, als die zu ersteigende Höhe, sich unge-

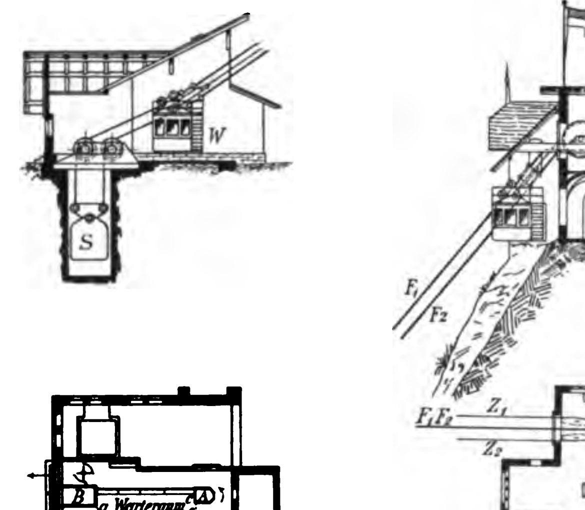


Abb. 206, 207. Untere Stationsanlage.

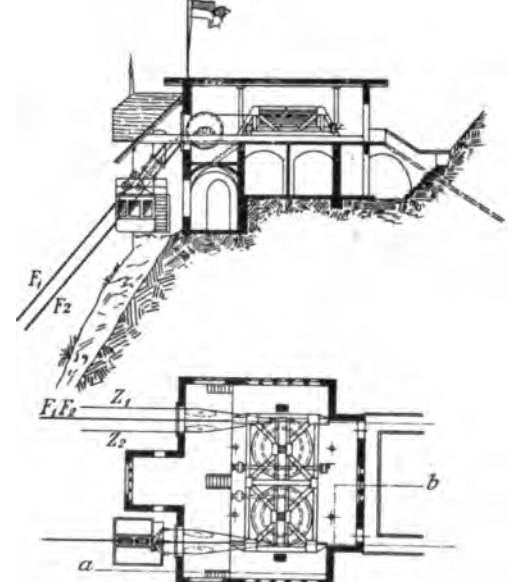


Abb. 208, 209. Obere Station.

wöhnlich niedrig stellen müssen. Während die Bahnanlagekosten (ohne Ausrüstung und Kraftanlage) bei gewöhnlichen Seilbahnen für 1 m Steigung 400 bis 4000 Mk. betragen, werden sich diese Kosten, allerdings ohne Haltestellen, bei Berg-Seilaufzügen nur auf 30 bis 40 Mk. stellen.

Für die eigentliche Bahnanlage entstehen außer der Fettung der Führungsseile keine Unterhaltungskosten. Die Grenzen der Anwendbarkeit von Bergaufzügen sind ziemlich weit gesteckt. Bei sehr steilen Felsen können selbst Höhen bis zu 1000 m ohne Zwischenstation genommen werden.

Beispiele: Wetterhornaufzug. Der Feldmann'sche Bergaufzug hat seine erste Ausführung am Wetterhorn im Berner Oberland (Schweiz) erfahren. Die erste Abteilung der Anlage besteht aus zwei Aufzügen von 450 und 510 m Höhenunterschied. Die untere Station befindet sich beim Hotel Wetterhorn, die obere bei der von den Bergschaften ausgebauten Glecksteinhütte. Die Zwischenstationen sind Enge und Schlupf, verbunden durch einen bequemen, nahezu wagrecht verlaufenden Weg, den der Fahrgast zu Fuß zurücklegen muß.

Im Herbst 1904 wurden Probedrähte gespannt, proportional ihrem Eigengewicht genau so wie die späteren Seile. Es wurde dann ein dem Wagen entsprechendes Laufgewicht mit einem gleichfalls proportionalen Zugseil aufgezogen und abgelassen. In dieser Weise wurde der Betrieb dem Laien in verständlicher Weise vorgeführt. Die Bewegungen des Spanngewichts waren sehr ruhig und es betrug der größte Weg 3,5 m. Bei den orkanartigen Stürmen des Frühjahrs 1905 sind an den Seilen keine dem Auge bemerkbaren Schwankungen beobachtet worden. Ein Teil der Seile wurde im Herbst eingefettet. Weder bei den eingefetteten noch bei den andern Seilen hat eine wahrnehmbare Vereisung stattgefunden. Die Rostbildung war auch bei dem nicht eingefetteten Teile nur gering.

Der erste Aufzug wird im Herbst 1906 betriebsbereit, der zweite soll im Herbst 1907 übergeben werden.

Seiltalbrücke Glion-Sonzier. Die in Abb. 210 dargestellte Brücke über die Gorge du Chauderon zwischen Glion und Sonzier (oberhalb Montreux am Genfersee) soll nach der Feldmannschen Bauart hergestellt und betrieben werden. Die Spannweite beträgt 500 m bei einer Höhe von 140 m über dem tiefsten Punkte. Der Wagen W faßt 20 Personen und enthält zwei Bänke zu drei und zwei zu zwei Plätzen.

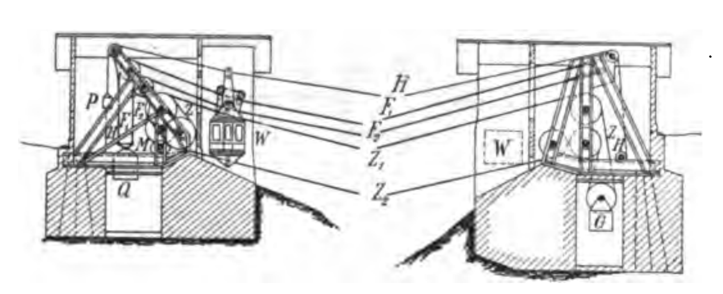


Abb. 210. Talbrücke nach Feldmann.

Sein Leergewicht ist zu 3,5 t festgesetzt. Der kleine Vorraum des Wagens kann Gepäck aufnehmen. Im Geländer ist eine Klappe zum Hinunterlassen zwecks Überbrückung des Zwischenraumes, Ausgleichung von Höhenunterschieden und Lösen des Türverschlusses nach dem Warteraum. Das Radgestell umfaßt die Tragseile von allen Seiten. Die Führungsseile F_1 und F_2 sind grobdrähtige Seile verschlossener Flechtart und haben einen Durchmesser von 44 mm. Die Bruchbelastung beträgt 130 kg/qmm, das Gewicht 11 kg/m, die größte Beanspruchung 28 t. Das Spanngewicht Q wiegt 25 t. Das Zugseil Z bildet einen geschlossenen Ring, wird durch das Gewicht G in gleichmäßiger Spannung gehalten und durch den Motor M bewegt. Das Spanngewicht G ist so bemessen, daß der Zugseildurchhang der Wagenfahrbahn entspricht und beträgt etwa 8 t. Das Zugseil hat 35 mm Durchmesser, wiegt 4,5 kg/m

und ist für 55 t Bruchfestigkeit berechnet. Die größte im Betrieb vorkommende Beanspruchung erreicht 4,2 t. Die Fahrgeschwindigkeit soll 2 m/sek. nicht überschreiten. Beim Bruch von Z klemmt sich der Wagen am Hilfsseil H fest. Letzteres dient als Telephonverbindung, als Bauseil zum Ziehen der Zug- und Tragseile, sowie als Notseil bei Unfällen irgend welcher Art. Auf beiden Seiten der Brücke ist eine Windetrommel aufgestellt. Auf der Trommel in Glion sind 510 m Seil aufgewickelt. Die Trommel in Sonzier kann durch den Motor getrieben werden. Das Spanngewicht P, das lose auf dem durchgehenden Seile hängt, ist so zu bemessen, daß die Spannung in H größer ist als in F, und beträgt im vorliegenden Falle 2 t. Das Hilfsseil hat 20 mm Durchmesser, 17 t Bruchfestigkeit und wiegt 1,4 kg/m.

Für viele Berge hat Feldmann Projekte ausgearbeitet, so z. B. für Eismeer-Eiger (als Zweiglinie der Jungfraubahn), Säntis, Matterhorn, Zugspitze u. a. Es sei hier nur noch die Montblanc-Bahn erwähnt, welche vom Südbahnhof von Chamonix (1020 m ü. M.) ausgehend, die Aiguille du Midi (3843 m ü. M.) erreichen soll[57]. Den Zugang zu den Aufzügen sollen zwei Seilbahnen gewöhnlicher Bauart vermitteln. Die erste derselben überwindet bei 10,6 bis 62 v. H. Steigung und 2130 m wagrechter Länge eine Höhe von 600 m. Sie soll vom Bahnhof weg, an den zwei Haltestellen Les Pélerins und Cascade du Dard vorbei nach La Para führen. Von dort soll die zweite Seilbahn mit 38 bis 65 v. H. Steigung und 1485 m wagrechter Länge die Höhe von 814 m nach dem Glacier des Bossons, mit Station Pierre Pointue in der Ausweichstelle, überwinden. Der Ausgangspunkt der Aufzüge[58] ist auf 2450 m ü. M. vorgesehen. Die drei Aufzüge Glacier des Bossons-Glacier des Pélerins, Glacier Rond-Rocs Percés, Rocs Percés-Aiguille du Midi überwinden bei den Horizontallängen von 378, 365 und 335 m die bzw. Höhen von 358, 477 und 483 m. Die oberste Station soll auf 3770 m, d. h. 73 m unter der Spitze liegen. Die Aufzüge sind durch wagrechte Wege, die teilweise als Gallerie in den Felsen ausgesprengt sind und 272 bzw. 100 m Länge erhalten sollen, zu verbinden. Von der Endstation ist eine Schlittenbahn nach dem Vallée Blanche vorgesehen, auf welcher die Schlitten mittels Seilbahn wieder der Höhe zugeführt werden. Der Betrieb soll elektrisch eingerichtet werden. Die Kosten für die ganze Anlage sind zu 3700000 Mk. berechnet, wovon etwa 1000000 Mk. auf die Aufzüge entfallen. Die Betriebskosten sind zu 100000 Mk. berechnet, während die Einnahmen 380000 Mk. betragen sollen, was einer Verzinsung von 12 v. H. entsprechen würde.

Die Jungfraubahnunternehmung hat im Jahre 1905 die Konzession für eine Aufzuganlage nach Bauart Feldmann von Station Eismeer bis zur Eigerspitze erhalten.

§ 18. Bergschwebebahnen[59]. — Die Kontinentale Gesellschaft für elektrische Unternehmungen in Nürnberg, Inhaberin der Patente von Eugen Langen in Köln, wendet die Schwebebahnbauart auf städtische Hochbahnen, Schnellbahnen, Feld- und Bergbahnen mit verstärkter Reibung, Zahnradbahnen und Bergschwebebahnen an. Für letztere Bauart sind die Vorzüge des Systems Langen am kleinsten, doch können örtliche Verhältnisse zu seinen Gunsten sprechen.

Auf dem Prinzipe der Einschienenbahn Barmen-Elberfeld-Vohwinkel im Wuppertale beruhend, ist die Bergschwebebahn Loschwitz bis jetzt die einzige ihrer Art.

---

[57]) Vgl. Funiculaires Chamonix-Aiguille du Midi-Vallée Blanche, Rösch und Schatzmann, Bern 1905.

[58]) Franz. Patent Nr. 323884.

[59]) Un chemin de fer monorail de montagne à Loschwitz, Revue technique, 1901, S. 397. Ztg. d. Ver. deutsch. Eisenbahnverwaltungen 1901, S. 86 u. 588.



Sie ist eine Ergänzung der Drahtseilbahn Loschwitz-Weißer Hirsch und vermittelt den Verkehr zwischen Loschwitz und der steil abfallenden, 100 m über dem Elbetal liegenden Rochwitzer Hochebene.

Die Notwendigkeit der Straßenübersetzung hat vor allem die Bauart Langen bedingt. Die 250 m lange Bahn überwindet eine Höhe von 84 m bei einer mittleren Steigung von 32 v. H. Der Längenschnitt hat die Form einer flachen Parabel, gebildet durch zwei Gerade von verschiedener Neigung (1 : 3,68 und 1 : 2,50), verbunden durch einen Übergangsbogen von 120 m Halbmesser. Der Lageplan der Bahn zeigt im untersten Stück eine Krümmung von 20 m Halbmesser. Die Bahn hat zwei Einschienengleise, welche auf je einem Längsträger von kastenförmigem Querschnitt ruhen.

Der Bahnkörper besteht aus 32 Pendelstützen und einem Ankerjoch, die auf soliden Betonfundamenten ruhen, und 8 m Entfernung haben. Die Pendelstützen können kleine, von Temperatureinwirkungen herrührende Bewegungen durch Drehung um den Auflagepunkt ausgleichen.



Abb. 211. Bahnkörper und Wagen.

Das Ankerjoch, die feste Stütze, ist im oberen Bahndrittel gelegen und bietet der etwa 300 t wiegenden Eisenkonstruktion Halt. Seitliche Arme der Stützen tragen die Längsbalken (Abb. 211). Der Achsenabstand der letzteren beträgt 5,54 m, an den beiden Endpunkten aber, wo die Bahn von Portalstützen (Abb. 212) getragen wird, und ein 5 m breiter Bahnsteig dazwischen liegt, 8 m. Den Unregelmäßigkeiten des Berghanges und dem erforderlichen Längenschnitt der Bahn entsprechend haben die Stützen Höhen bis zu 15 m. An den Endpunkten der Bahn senken sich die Fahrschienenträger so weit herab, daß der Wagenfußboden mit dem Bahnsteige in gleicher Höhe liegt, was ein müheloses Besteigen und Verlassen des Wagens gestattet. Ein sinnreiches Entwässerungssystem schützt den ganzen Berghang gegen Bodenbewegungen.

Die beiden Seilbahnwagen sind durch ein flachlitziges Seil, bestehend aus 140 Gußstahldrähten, verbunden. Dasselbe, von Felten & Guilleaume hergestellt, hat 44 mm Durchmesser und besitzt bei 95 000 kg Bruchfestigkeit ein Gewicht von 7 kg/m.

Jeder Wagen, dessen beide Stirnseiten behufs freier Aussicht verglast sind, hat 40 Sitz- und 10 Stehplätze, faßt also 50 Personen und wiegt vollbesetzt 12,8 t.



Abb. 212. Bahnsteig am unteren Ende.

Die einzelnen Abteile sind, wie bei Seilbahnen üblich, stufenförmig abgesetzt. Der Wagenkasten hängt frei an zwei kräftigen, aus Flußstahlträgern und Blechen gebildeten Hängebügeln, deren jeder ein Laufrad mit doppeltem Spurkranz aufnimmt (Abb. 213 und 214).

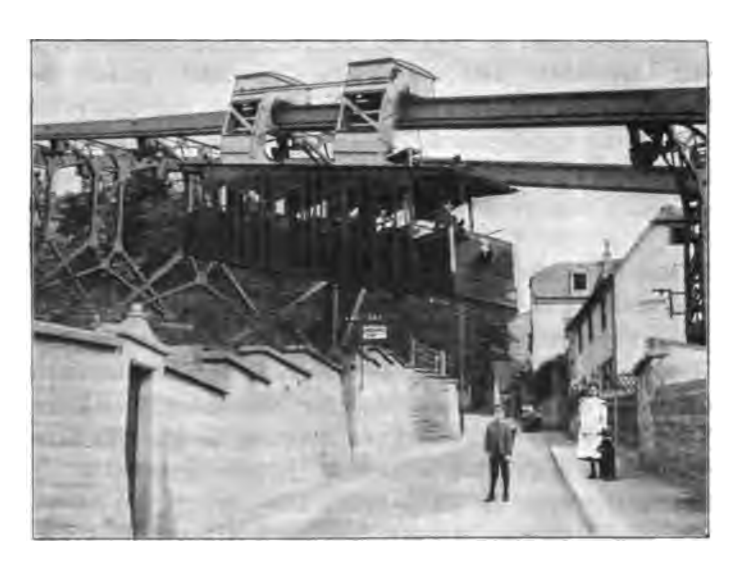


Abb. 213. Wagen.

Jeder Wagen ist mit drei Zangenbremsen, System Bucher & Durrer, versehen, von denen zwei selbsttätig bei Nachlassen des Seilzuges, die dritte von Hand,

angezogen werden. Überdies hat jeder Wagen noch zwei Bremsrollen zur Begrenzung etwa auftretender übermäßiger Pendelbewegungen.

Bei großem Andrange wird jedem der beiden Seilbahnwagen noch ein Vorschiebewagen mitgegeben, so daß die doppelte Personenzahl befördert werden kann.

Der Antrieb der Bahn erfolgt von der oberen Station aus, wo zwei Lokomobilen von je 90 PS, deren Seiltrommeln 4 m Durchmesser haben, aufgestellt sind. Eine der Umlenkrollen ist verschiebbar angeordnet, so daß Längenänderungen des Seiles ausgeglichen werden können. Die Seiltragrollen sind so eingerichtet, daß sie, wenn das Seil zufällig unter dieselben geraten sollte, zur Verhütung eines Festklemmens, und damit verbundenem unabsichtlichem Bremsen, umschlagen, und zwar so, daß das Seil sofort wieder in die richtige Lage zurückgeht.



Abb. 214. Kreuzungsstelle.

Das Maschinenhaus enthält die üblichen Sicherheitsvorrichtungen, wie Streckenzeiger, Läutewerk bei Überschreiten der Höchstgeschwindigkeit, Signaleinrichtung für Abfahrt und Ankunft der Züge, Telephonverbindung mit den Stationen und den Wagen, selbsttätige Bremsvorrichtung für den ankommenden Wagen usw. Für den Betrieb mit einem aufwärts- und einem abwärtsgehenden Wagen genügt eine Lokomobile.

Von den beiden Stationsgebäuden ist das untere in vlämischem Renaissancestil, das obere mit vier Türmchen, in welchen die Rauchfangmündungen verborgen sind, in modernem Stil ausgeführt. Das untere Stationsgebäude enthält den Fahrkartenschalter, von welchem links und rechts Treppenaufgänge, der eine für die ankommenden, der andere für die abfahrenden Gäste, nach dem Bahnsteig führen, der durch ein Glasdach geschützt ist. Überdies sind Warteräume, Dienstzimmer usw. vorhanden.

Das obere Stationsgebäude enthält außer den gleichen Räumen noch das Maschinenhaus.

Die Konzession für die Bergschwebebahn wurde von der Kontinentalen Gesellschaft für elektrische Unternehmungen in Nürnberg erworben und auf die A.-G. „Elektra“ in Dresden übertragen, welche auch den Bau für eigene Rechnung ausführte und jetzt Besitzerin der Anlage ist. Die Lieferung der gesamten Eisenkonstruktion und der Wagen, sowie die Bauaufsicht war der Maschinenbau-Aktiengesellschaft in Nürnberg (Leiter der kgl. Baurat Dr. v. Rieppel) übertragen. Die maschinelle Einrichtung lieferte die Deutsche Elbschiffahrts-Gesellschaft „Kette“ in Dresden.

Am 6. Mai 1901 wurde die Bahn eröffnet.

Bei äußerst angestrengtem Betrieb können mit zwei aufwärts- und zwei abwärtsfahrenden Wagen bei 3-Minutenbetrieb und 16-stündiger Betriebszeit nach jeder Richtung 32000, insgesamt 64000 Personen befördert werden.

Der Fahrpreis beträgt für die Bergfahrt 20 Pf., für die Talfahrt 10 Pf. und für Hin- und Rückfahrt 25 Pf.



§ 19. Verschiebe-(Rangier-)Seilbahnen [60]). Dieselben sind namentlich für Verschiebebahnhöfe mittleren Umfanges mit mehr einheitlichem Güterverkehr (sog. Massengütern), sowie auf Gleisanlagen von industriellen Werken, auf denen eine Lokomotive nicht ausreichende Beschäftigung findet, empfehlenswert. Ein etwa 1 m neben den Gleisen bei normalen Verhältnissen 300 bis 400 mm über dem Boden geführtes endloses Seil, welches durch irgend einen Motor oder von einer vorhandenen Transmission angetrieben und während der Verschiebezeit ständig in Bewegung gehalten wird, ermöglicht es, daß an jeder Stelle der Anlage eine Kraftquelle sofort zur Verfügung steht, um irgend einen an das Seil angekuppelten Wagen nach einer andern Stelle der Anlage zu bringen.

Der Umstand, daß zum Anfahren der Wagen die größte Kraft erforderlich ist, nachher jedoch, wenn die Wagen in Gang gebracht sind, eine verhältnismäßig geringe Kraft benötigt wird, um die laufenden Wagen in Bewegung zu halten, hat die Unternehmung Hasenclever veranlaßt, die Verschiebe-Seilbahnantriebe mit einem Schwungrade in Verbindung mit einer Reibungskuppelung (D. R. P.) auszurüsten. Das Schwungrad ist so bemessen, daß es vermöge seiner lebendigen Kraft den fortzuschaffenden Wagen bzw. Zug in Gang bringt. Der Antriebmotor braucht daher nur so stark zu sein, um den laufenden Zug in Gang zu halten, erhält deshalb meist nur 10 PS. Die Betriebskosten werden dadurch gering, besonders auch noch deswegen, weil die Antriebstation nur gelegentlicher Wartung bedarf. Auch die Anlagekosten sind nicht bedeutend.

Da die stillstehenden Wagen eine gewisse Zeit brauchen, bis sie die Seilgeschwindigkeit erreicht haben, und ein Gleiten des Seiles in dem Seilgreifer oder in den Rillen der Antriebscheibe aus Rücksicht auf die Haltbarkeit von Seil und Seilscheibenfutter unbedingt vermieden werden muß, ist die erwähnte Kuppelung vorgesehen, welche es dem Schwungrade ermöglicht, nach und nach seine lebendige Kraft auf den anfahrenden Zug zu übertragen. Überdies schützt diese Kuppelung die ganze Anlage gegen Überlastung.

Der Vorgang beim Anschlagen eines Wagens bzw. eines Zuges (bis zu 15 Wagen mit einem Seilgreifer) ist ungefähr folgender:

Das Seil und mit diesem sämtliche Führungsrollen und Antriebscheiben bleiben einen Augenblick vollkommen still stehen, während die Antriebmaschine mit dem Schwungrade unter unmerklicher Verminderung ihrer Umdrehungszahlen weiter laufen. Sodann setzen sich die Antriebscheiben, Seil nebst Rollen und angeschlagenem Zug ganz allmählich in Bewegung, so daß sich letzterer nach ungefähr 5 bis 8 Sekunden mit der normalen Geschwindigkeit bewegt. Das Anfahren der Wagen geschieht daher genau in derselben Weise wie durch zugfeste Pferde. Werden mehr Wagen angekuppelt als zulässig ist, oder sind die Bremsen nicht gelöst, so wird, infolge der erwähnten Kuppelung, die Last nicht mitgenommen. Erst nachdem die Überlast abgekuppelt oder die Bremsen gelöst sind, wird die Bewegung eintreten.

Infolge dieser wohlberechneten Beanspruchung der Anlage können alle Teile derselben leicht gehalten werden, ohne daß deren Beschädigung zu befürchten ist. Die Seile haben sehr kleinen Durchmesser, trotzdem sie auf fünffache Sicherheit berechnet sind. Dünne Seile sind billiger und bieten kleineren Widerstand als

[60]) Nach Mitteilungen von C. W. Hasenclever Söhne in Düsseldorf und Georg Heckel in St. Johann-Saarbrücken.





Abb. 215. Seilunterführung.

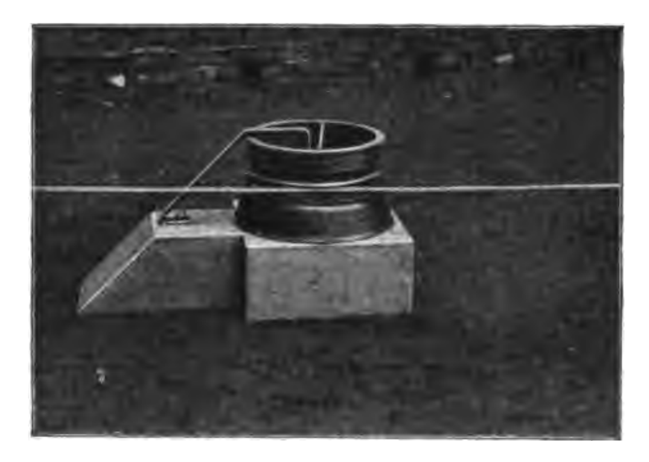


Abb. 216. Gewöhnliche Kurvenrolle.



Abb. 217. Hasenclever's Kurvenrolle.

Seile größeren Durchmessers. Der Wirkungsgrad der ganzen Anlage wird dadurch günstiger und die verlangte Leistung des Antriebmotors kleiner. Ein selbsttätiger Seilschmierapparat ist vorgesehen.

Bei Kreuzungen des Seiles mit den Gleisen (Weichen) wird ersteres unter diesen durchgeführt (Abb. 215). Das Durchziehen durch die Weiche geschieht dadurch, daß der Zug mittels eines längeren Kuppelseiles etwas hinter der Weiche angeschlagen wird. Dasselbe findet statt, wo Wege über die Gleise führen. Sind diese nicht viel benutzt, so kann eine Niederdrückvorrichtung angewendet werden, welche darin besteht, daß eine mit kleinen Seilführungsrollen besetzte Plattform auf das Seil gelegt wird, solange der Übergang stattfindet.

Bei vorkommenden Krümmungen in der Gleisanlage wird durch Einbau geeigneter Rollen ein bequemes Durchfahren ermöglicht ohne die Wagen abschlagen zu müssen (Abb. 216 und 217).

Die der Firma C. W. Hasenclever Söhne geschützte Krümmungsrolle (Abb. 217) hat an ihrem oberen Rande eine Anzahl Vorsprünge, welche dazu dienen, das Kuppelseil sicher über die Rolle hinwegzuführen. In Abb. 218 wird das Kuppelseil von den Rillen bildenden Vorsprüngen gefaßt, während es in Abb. 219 über die Rollen hinweggehoben ist.

Um das Seil in handlicher Höhe zu führen und vor allem ein Schleifen desselben auf dem Erdboden zu vermeiden, werden in gewissen Abständen geeignete Tragrollen (Abb. 220) eingebaut.



Zwei Schutzarme lassen das Seil nicht an den Lagerstellen gleiten. Die Welle läuft mit ihren Enden in den als Fettkammern ausgebildeten Weißmetallagern. Eingelegte Filzringe verhindern das Entweichen des Fettes.

Bei Verschiebeanlagen von mehr als 1000 m Seillänge wird, um dem unvermeidlichen Längen des Seiles Rechnung zu tragen, eine Spindelspannvorrichtung eingebaut, wodurch das lästige Seilkürzen vermieden wird.

Der Seilgreifer[61]) (Abb. 221) muß so gebaut sein, daß er auch beim Anhängen der größten Lasten nicht auf dem Seil gleitet, selbst wenn letzteres reichlich geschmiert ist, weil sonst Seil und Greifer Schaden nehmen. Der Seilgreifer soll außerdem unter Last lösbar, sowie einfach und von jedermann zu bedienen sein.

Die Bewegung der Drehscheiben geschieht ebenfalls durch das Seil, und zwar in der Weise, daß der auf die Drehscheibe gezogene Wagen in passender Art durch das Kuppelseil mit dem Verschiebeseil verbunden wird.

Kommen Schiebebühnen in der Gleisanlage vor, so können dieselben in den Seilbetrieb einbegriffen werden. Die Einrichtung für einen Schiebebühnenbetrieb, die der Unternehmung Hasenclever durch Patent gesichert wurde, ist folgende: An dem einen Ende der Schiebebühnenbahn ist eine Doppeltrommel vorgesehen, welche durch eine besondere Einrichtung von dem Hauptseil je nach Bedarf nach beiden Richtungen in Umdrehung gesetzt werden kann durch Betätigung eines



Abb. 218. Durchfahren von Krümmungen.



Abb. 219. Durchfahren von Krümmungen.



Abb. 220. Seiltragrolle.

[61]) Patent der Unternehmung C. W. Hasenclever Söhne in Düsseldorf.

Steuerhebels auf der Schiebebühne. An jede Hälfte der Trommel ist ein Seil befestigt, so daß sich das eine derselben auf-, das andere abwickelt. Das eine Seil läuft von der Trommel zur Schiebebühne, während das andere, unter dieser durchgeführt, am andern Ende der Bahn über eine Umlenkrolle geleitet, nach der Bühne zurückkehrt. Da beim Auf- und Abziehen der Wagen auf, bzw. von der Bühne die Fahrschienen der letzteren bis auf einige Millimeter genau vor die Gleisenden gebracht werden müssen, ist auf dem Führerstand ein Handrad vorgesehen, mittels welchem es möglich wird, die Bühne scharf einzustellen.



Abb. 221. Seilgreifer.

Abb. 222 bis 224[62]) stellen eine Verschiebeanlage von Heckel in St. Johann dar. Die beiden äußeren Gleise I und IV sind Ladegleise; die beiden mittleren nehmen zunächst die zu beladenden Wagen auf. Von der Antriebstation geht das Seil über eine Spannvorrichtung nach dem vorderen Bahnende; über zwei Wendescheiben zurück, zuerst unter Gleis IV hindurch, dann oberirdisch diesem gleichgerichtet nach dem hinteren Bahnende; dort über Leit- und Wenderollen unter

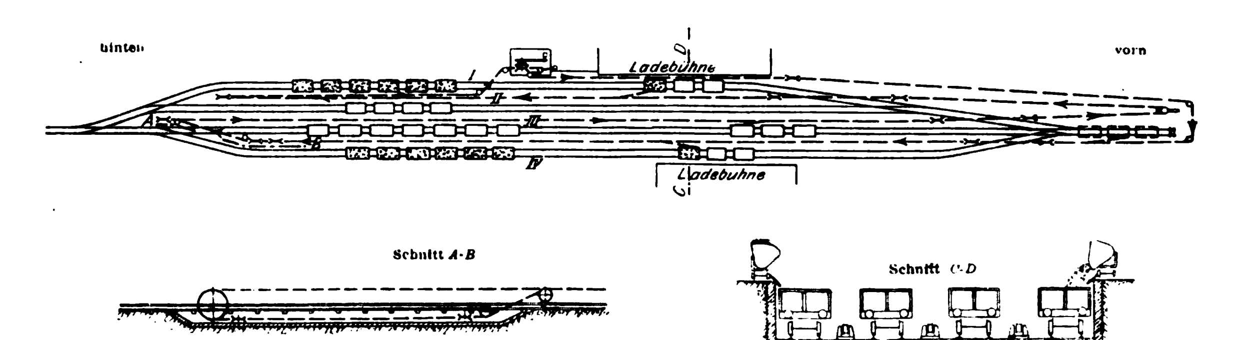


Abb. 222, 223, 224. Verschiebeanlage nach Heckel.

Gleis III hindurch, und oberirdisch, gleichgerichtet Gleis III und II nach dem vorderen Bahnende; hier unter dem schrägen Gleis I hindurch über eine Wenderolle und oberirdisch neben Gleis I zurück nach dem hinteren Bahnende und von dort unterirdisch über Wende- und Leitrollen wieder zur Antriebstation. Heckel verwendet zum Ankuppeln das Hebelschrauben- sowie das Keilzahnradschloß.

§ 20. Taubahnen (Kabelbahnen) in Städten. — Das Heimatland der Taubahnen ist Amerika, wo dieselben zuerst in San Francisco, der hügeligsten aller Städte, mit Steigungen von 16 bis 20 v. H., durch Hallidie im Jahre 1873 zur Aus-

[62]) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1903.

führung gelangten. In Europa besitzen nur England, Frankreich und Portugal Taubahnen, während in Australien eine ganze Anzahl besteht, unter andern in den Städten Melbourne, Sydney und Dunedin.

In Amerika werden im allgemeinen Seilbahnen für dichten, zu bestimmten Tagesstunden auftretenden Verkehr verwendet, doch dürften künftig für Neuanlagen wohl nur noch elektrische Trambahnen in Betracht kommen. Von 1890 bis 1902 (einschl.) sind die Taubahnen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika durch Umbau auf elektrischen Betrieb von 785 km auf 390 km zurückgegangen. Seilbahnen sind in der Anlage und bei kurzen Strecken auch im Betriebe kostspielig, in großen Anlagen dagegen wird der Betrieb nur den dritten Teil des elektrischen und 20 bis 30 v. H. des Pferdebetriebes betragen. Bei gut hergestellten Taubahnen kostet 1 km 200000 bis 260000 Mk., im Durchschnitt 1 m in der geraden Strecke 140 Mk., in Krümmungen 420 Mk.; das Wagenkilometer beläuft sich auf 16 bis 17,1 Pfg., gegen 40 bis 60 Pfg. bei elektrischem Betrieb. Der Kraftbedarf für die Seilbahnen ist verschieden, je nach der Bahnanlage. Krümmungen bedingen große Widerstände, bedeutende Seilabnutzung und beträchtliche Anlagekosten, wogegen in geraden Strecken der Verkehr sich äußerst vorteilhaft gestaltet. Der Straßenschmutz ist ein großes Übel für den Seilkanal.

Das Wesen des Seil-(Tau-)Betriebes besteht darin, daß ein endloses Seil in einem in der Mitte zwischen den Laufschienen liegenden und durch einen Längenschlitz zugänglichen Betonkanal auf Leitrollen von einer Hauptstelle aus bewegt wird. Die Wagen haben einen Mitnehmer (grip), der mit einem flachen Arm durch den Schlitz in den Kanal hineinragt und durch Backen, die vom Wagenführer nach Belieben zusammengepreßt oder geöffnet werden können, die Wagen mitnimmt oder ausschaltet. Die Strecken haben zwei Gleise, das eine für die gehenden, das andere für die kommenden Wagen. Die größte Seillänge, bei 31 mm Durchmesser, beträgt 10 km und wurde von Thomas & William Smith, Newcastle on Tyne, für die Melbourner Tramway-Gesellschaft geliefert. Um kleinere Seillängen zu erhalten, wird die Antriebstation in die Mitte der Strecke verlegt und es müssen die Wagen dort das eine Seil loslassen, um das andere zu fassen. Am Ende der Strecke werden große Schleifen (loops) angeordnet, welche das Umkehren gestatten, des Seilverschleißes wegen aber meist durch besondere Seile betrieben werden.

Seile. Diese sind ähnlich beschaffen wie die Förderseile für Bergwerke. In Chicago z. B. haben sie 33 bis 38 mm Durchmesser bei 6 Litzen zu je 16 Drähten von 1,5 mm Durchmesser. Sechslitzige Seile sind am leichtesten zu spleißen, weil die Litzenenden genau in den Hohlraum der entfernten Hanfseele passen. Bei fünflitzigen Seilen wird die Spleißung dadurch besonders fest, daß die Litzen etwas größeren Durchmesser haben als die Hanfseele, wodurch die äußeren Litzen auf die Enden der verspleißten Litzen einen seitlichen Druck ausüben. Die Seilgeschwindigkeit beträgt 10 bis 16 km/Std., ausnahmweise bis zu 24 km/Std., ($v = 6{,}6$ m/sek.). Von den fünf Teilstrecken der Taustraßenbahn in Cleveland (Ohio), die von einer einzigen Hauptstelle aus betrieben werden, hat eine, des dichten Verkehrs wegen, nur 2,7 m/sek. Geschwindigkeit, während die andern mit 5,6 und 6,5 m/sek. laufen. Wegen dieses Unterschiedes wurde eine besondere Geschwindigkeitsübersetzung notwendig (Abb. 225). Das raschlaufende Hauptseil kommt auf zwei fliegend aufgesteckte Walker'sche Differentialtrommeln (Abb. 230) und geht über eine Kehrrolle zur Hauptstelle zurück. Ein zweites Paar von Trommeln wird durch Stirnräder mit passender

14*

Übersetzung angetrieben und bewegt das langsam laufende Nebenseil, das durch Reibungskuppelungen ausgeschaltet werden kann. Tunnel- und Verkehrsschleifenseile müssen oft alle Monate erneuert werden, andere Seile halten 8 bis 9 Monate, ausnahmsweise mehr als 2 Jahre.

Die regelmäßige Schmierung mit Teer und Leinöl ist von großem Einfluß auf die Abnutzung. Broderik & Bascom Rope Cy. in St. Louis, Mo., empfehlen eine

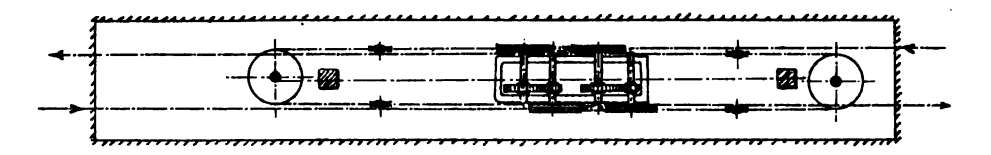


Abb. 225. Geschwindigkeitsumformstation.

Mischung von $^2/_3$ Teer und $^1/_3$ Leinöl. Das Meter Seil wiegt etwa 3,72 kg und kostet neu rund 4 Mk. Alte Seile werden in 3 m lange Stücke geschnitten und zu 25 bis 34 Mk. die Tonne verkauft. Jede Nacht wird das Seil zwischen 2 und 6 Uhr, wenn der Verkehr ruht, von der Maschine langsam durchgezogen und untersucht, schadhafte Stellen werden sofort ausgebessert. Um auch während des Betriebes Drahtbrüche sofort aufzufinden, wird das Seil durch eine beweglich aufgehängte Öse geführt. Die vorstehenden Drähte der Bruchstelle bewirken dann Stromschluß und lassen eine elektrische Glocke ertönen. Ein neues Seil wird dadurch eingeführt, daß es an das alte angebunden und letzteres mittels besonderem Windewerk auf eine Trommel gerollt wird. Das Einsetzen eines neuen Seiles beansprucht auf diese Weise nur 2 bis 3 Stunden, während das Spleißen durch geübte Arbeiter in 1 bis $1^1/_2$ Stunden besorgt werden kann.

Gleise und Schienen. Spurweiten von 1070 und 1520 mm sind die gebräuchlichsten und kommen oft nebeneinander vor. Das Schienengewicht bestimmt sich weniger nach der darauf rollenden Last, als nach den seitlich darauf ausgeübten Stößen durch Lastwagen. In England kam eine Rillenschiene von 170 bis 180 mm Höhe bei 45 kg/m Gewicht zur Verwendung. Die Schienen ruhen entweder auf Langschwellen, oder auf den Böcken, welche den Seilkanal bilden. Der Schlitz für den Mitnehmer wird gewöhnlich durch ⊔ oder ⅂ Eisen gebildet und ist 19 bis 28 mm weit. Die Schlitzschiene wiegt 17 bis 33 kg/m.

Seilführung und Oberbau. Die Einführung des Seiles in die Antriebstation geschieht durch Führungsrollen von 3 bis 3,6 m Durchmesser mit Kompaßaufhängung der Spurlager und stellbarem, oberem Halslager, wodurch der Rollenachse jede beliebige Neigung erteilt werden kann. Abb. 226 zeigt die Seileinführung einer Station in Chicago, Ecke der 12. Straße und Blue Island Av. Es werden drei Taue (Kabel) betrieben und der eine der vier Seilscheibensätze ist zur Aushilfe für jedes Tau benutzbar. Das nordöstliche Seil der Blue Island Av. wird über die Scheiben *A*, *B*, 4 und 2 den Seiltrommeln zugeführt, das südwestliche läuft über die Scheiben 1, 3 und *C*, *D*. Das Seil der Halsted-Straße wird durch die Rollen *G*, *H* und die Scheiben *E*, *F* dem vierten Seiltrommelsatz zugeführt. Dem dritten zur Aushilfe dienenden Seiltrommelsatz kommen die Seile durch die Scheiben *J*, *K* und *L*, *M* zu.

Oberbau und Seilführung in der Geraden sind verhältnismäßig einfach.

Die Schienen ruhen auf eisernen Böcken, die in Entfernungen von 1 bis 1,5 m voneinander auf einer etwa 30 cm hohen Betonschicht aufgestellt sind. In Kalifornien (San Francisco) werden immer noch schmiedeiserne Böcke an Stelle der sonst

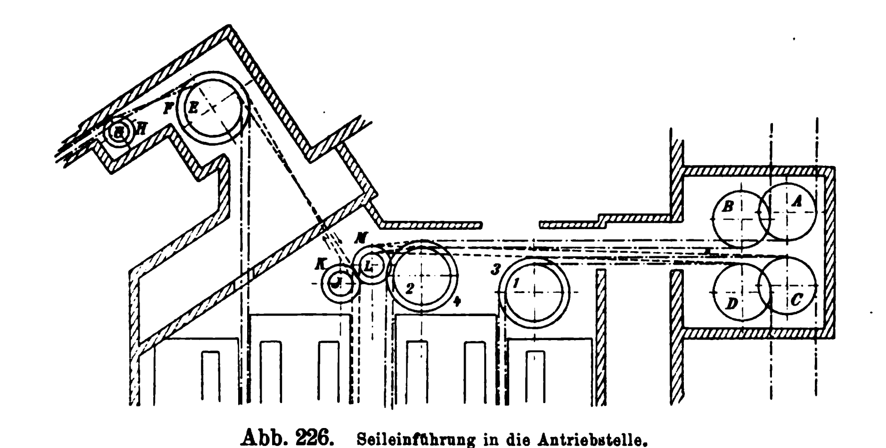


Abb. 226. Seileinführung in die Antriebstelle.

üblichen gußeisernen angewendet. Abb. 227 zeigt einen aus alten Eisenbahnschienen hergestellten Bock aus San Francisco. Eine andere alte Anordnung aus derselben Stadt veranschaulicht Abb. 228, wobei der Schlitz durch umgekehrte, gewöhnliche Schienen gebildet wird. In der Mitte jedes Bockes ist ein eiförmiger Ausschnitt für das Seil, während dasselbe zwischen den Böcken von einem Zementkanal gleichen Querschnitts umschlossen ist. Zwei Schienen, welche etwa 25 mm höher liegen als die Laufschienen, bilden als Mitnehmerschlitz die Wasserscheide für das Tagwasser. Zur Abführung desselben befindet sich z. B. in Chicago zwischen den beiden Gleisen ein besonderer Kanal, der von der Straße zugänglich ist und sein Wasser durch seitliche Abflüsse (in Entfernungen von etwa 100 m) an den städtischen Kanal abgibt. Wenn zwischen den Schienen keine lose Pflasterung liegt, können die Schlitzschienen

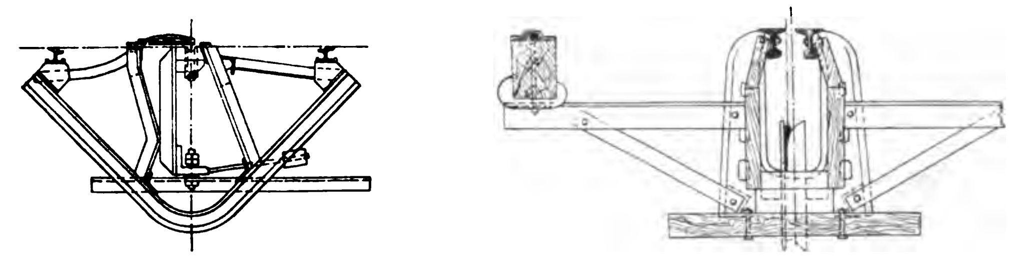


Abb. 227, 228. Seilkanalböcke.

im Winter durch Frost zusammengedrückt werden, wodurch der Betrieb gestört wird. Aufseher prüfen die Schlitzweite und regeln dieselbe durch Eintreiben von eisernen Keilen.

Eine von Eckart in Los Angeles, Cal., ausgeführte Anordnung des Seilkanals ist in Abb. 229 dargestellt. Dort ist ein gußeiserner Fuß, welcher zur Aufnahme des einzigen Tragrollenlagers bestimmt ist, durch Flacheisen mit Lauf- und Schlitzschienen verbunden und durch L Eisen versteift. Der Seilkanal ist aus Beton her-

gestellt. Für die Seiltragrolle hat nur ein Lager Verwendung gefunden, um Unterhalt, Schmierung und Auswechslung nach Möglichkeit zu vereinfachen.

Seilrollen sind alle 9 bis 10 m an den Tragböcken angebracht und es erhalten diese Stellen Einsteigschächte. Der Durchmesser der Rollen beträgt etwa 40 cm, und hat fast jede Gesellschaft ihr eigenes Rollenmodell. Die Seilrollen sind einfach in Hängelager gelegt, die ohne irgend welche Verschraubung in die Tragböcke eingehängt werden. Die Lager erhalten eine alle 2 bis 3 Monate zu erneuernde Fettschmierung. Die Rollen haben im günstigsten Falle eine Lebensdauer von einem Jahr. Sie werden um halbe Mitnehmerbreite aus der Bockmitte entfernt, damit das Seil immer genau in derselben Richtung geführt wird, in welcher es im Mitnehmer liegt.

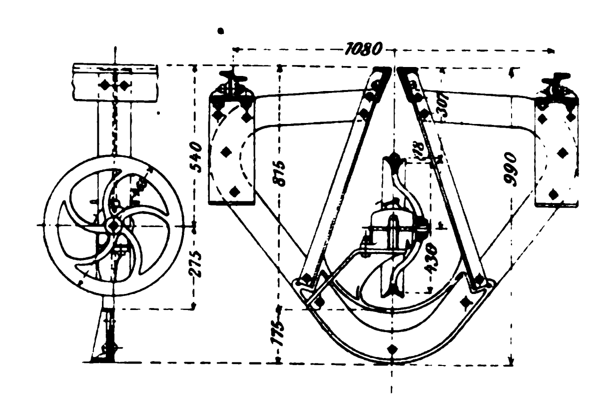
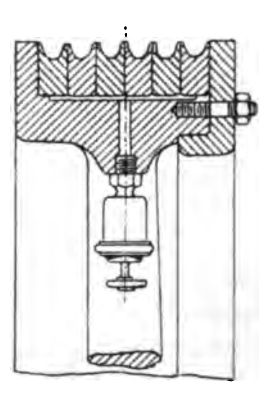
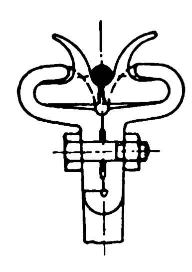


Abb. 229. Seilkanalbock.


Abb. 230. Differentialtrommel.

Seiltrommeln. Ihre Anordnung ist von größter Wichtigkeit; bei neueren Anlagen im Westen werden beide Seiltrommeln angetrieben. Erfolgt der Antrieb nur auf eine Trommel, so ist ein fünf- bis sechsmaliges Umschlingen des Seiles erforderlich, um die notwendige Reibung zu erzielen. Da das Seil infolge der wechselnden Betriebsspannung auf den Seiltrommeln selbst beständigen Verlängerungen ausgesetzt ist, somit innerhalb der Windungen rutscht, haben die aus einem Stück hergestellten Trommeln, die sich und das Seil stark abnutzen, an manchen Orten den „Differentialtrommeln“ (Abb. 230) Platz gemacht. Eine solche besteht aus mehreren gegeneinander verschiebbaren Ringen mit Seilrille, welche durch einen aufgeschraubten Kranz zusammengehalten werden[63]). In San Francisco begnügt man sich damit, die Scheiben mit Holz auszufüttern und dieses nach Bedarf zu erneuern. Bemerkenswert ist, daß bei den ersten Anlagen in Kalifornien die Seilscheiben behufs Vergrößerung der Seilreibung mit hölzernen, selbstspannenden Klammern nach Art der Fowler'schen Seilscheiben versehen wurden (Abb. 231).


Abb. 231. Selbstspannende Seilscheibe.

Die Spannwagen dienen dazu, das Seil trotz seiner wechselnden Verlängerungen und Verkürzungen gleichmäßig gespannt zu erhalten. Sie bewegen sich auf Gleisen von 24 bis 30 m Länge. Jeder Wagen trägt eine Seilspannrolle von etwa 3,7 m Durchmesser und erhält das Seil durch ein Gewicht in Spannung,

[63]) Zuerst von der Walker Mfg. Co. in Cleveland (Ohio) gebaut und deshalb nach derselben Walker'sche Trommel genannt.



das an einem Zugseil mit zwischengelagerter, etwa 1,2 m langer, kräftiger, walzenförmiger Schraubenfeder am Wagen befestigt ist. Auf dem Spannwagen, oder über dem Gewichtschacht ist eine Winde angebracht, auf deren Trommel die Länge des Gewichtzugseiles eingestellt wird. Das Gewicht beträgt je nach der Länge der Bahn 1,8 bis 3,2 t, so daß auf das Straßenseil die Hälfte desselben entfällt. Bei neugespleißtem Seil steht der Spannwagen dicht an der Seiltrommel, bewegt sich aber in der ersten Woche um etwa $^1/_{400}$ der gesamten Seillänge nach rückwärts. Bei vollem Betriebe führt der Wagen noch hin- und hergehende Bewegungen von 1,2 bis 1,5 m aus.

Der in Abb. 232 bis 234 dargestellte Spannwagen mit wagrechter Scheibe ruht auf einem zweiten Wagen, der für die Dehnung des Seiles während des Betriebes lang genug ist. Die Ausdehnungsschwankungen jedoch, die im Laufe eines

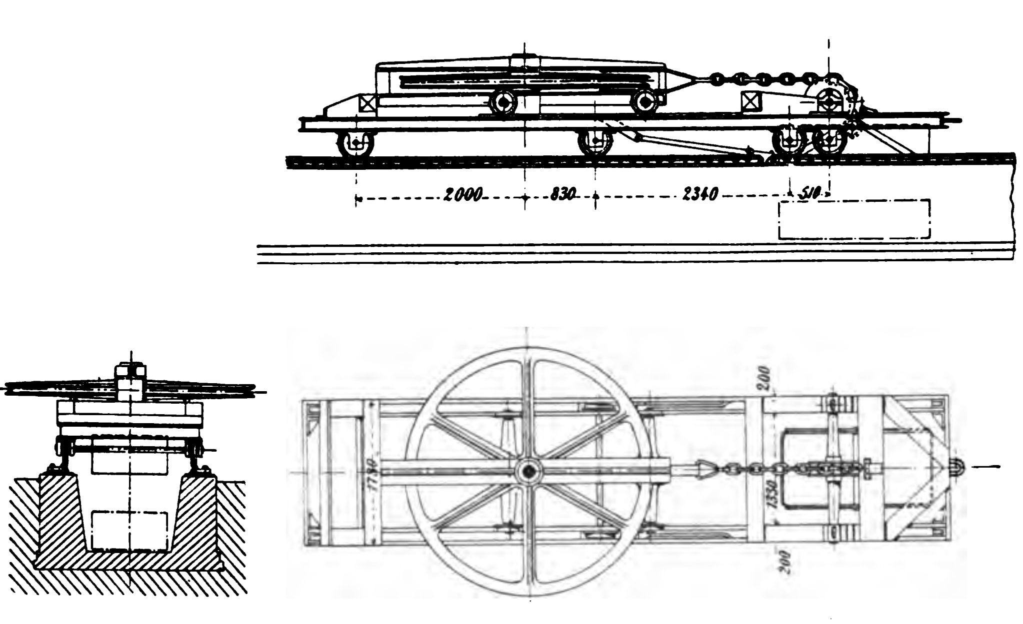


Abb. 232, 233, 234. Spannwagen.

längeren Betriebes unvermeidlich eintreten, werden dadurch ausgeglichen, daß dieser zweite Wagen nach Erfordernis auf einem durch Haken auf einer Zahnstange festgehaltenen Schlitten verschoben wird. Bei neueren Aufstellungen mit senkrechten Scheiben wird der Wagen in seiner Lage jedesmal durch Keile, die in Nuten von je 0,3 m Entfernung eingeschoben werden, gesichert. Die Anordnung mit doppeltem Wagen hat den Vorteil, daß die teueren Gewichtschächte wegfallen, wenn das Gewicht nicht, wie in New York, in einem (schmiedeisernen) Turme aufgehängt wird.

Krümmungen sind in der Anlage unbequem, erfordern eine große Zahl von Führungsrollen, sorgfältige Absteifung des Bahnkörpers und bewirken große Seilabnutzung. Gewöhnlich setzen sie sich aus drei Kreisbogen zusammen, von denen die beiden äußeren etwa 30 m Halbmesser erhalten, der innere dagegen 15 m und weniger. Je kleiner der Halbmesser, um so kleiner auch der Rollenabstand; bei 15 m Halbmesser beträgt derselbe etwa 1,2 m. Die Rollen für die Krümmungen haben gewöhnlich 80 cm Durchmesser, sind breit gebaut und besitzen einen vorstehenden

unteren Rand zur Aufnahme des Seiles. Beim Durchfahren der **Krümmungen** legt sich der Mitnehmer gegen das LEisen *c* (Abb. 235), welches die nach dem Mittelpunkte des Krümmungshalbmessers gerichtete Teilkraft des Seilzuges aufnimmt, da der Mitnehmer hierzu viel zu schwach wäre. Das LEisen ist in der ganzen Ausdehnung der Krümmung angebracht und an den Stellen, wo die Umfänge der Rollen liegen, ausgeschnitten. Die Einrichtung der Lager ist so, daß die Rollen leicht ausgewechselt werden können. Die lotrechte Achse steht mit dem unteren Ende in einer Spurbüchse, die mit zwei Drehzapfen versehen ist und einfach in den unteren Kragträger für das Lager eingehängt wird.

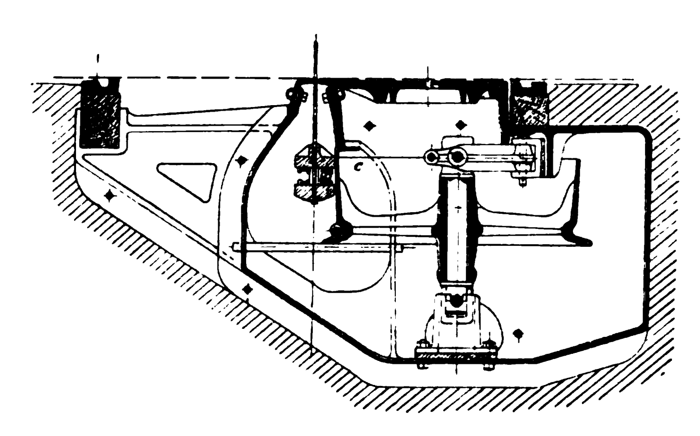
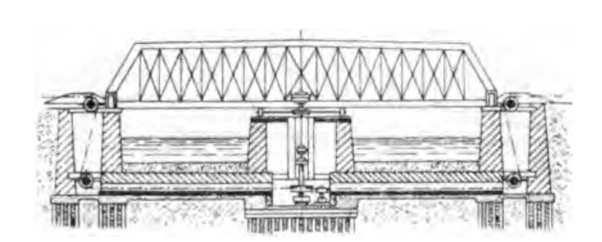


Abb. 235. Seilbock und Rolle in der Krümmung.

Bei außergewöhnlichen Verhältnissen sind neben den erwähnten Einrichtungen für Seilführung noch besondere Anordnungen nötig, so z. B. für Tunnelunterführungen. In Chicago benutzte die Kabelbahn anfänglich die beiden mit lotrechter Achse versehenen Drehbrücken. Das durch Rollen in einem Kanal unter dem Fluß geführte Seil (Abb. 236) bewegt in der Drehachse eine Welle, die ein auf der Brücke verlegtes Hilfsseil in Bewegung setzt. Die Brücke wird dadurch in keiner Weise behindert und die Wagen werden durch Sicherungsvorrichtungen aufgehalten, wenn sie offen steht. Der zunehmende Verkehr machte nun aber die Anlage einer eigenen Unterführung der Bahn notwendig. In Chicago genügte bei den zwei ersten, mit geringem Gefäll angelegten Unterführungen das Seilgewicht zum Festhalten auf den Rollen; bei der dritten Anlage jedoch (Gefäll von 1 : 9,3) mußten besondere Vorrichtungen angebracht werden. Eine derselben (Abb. 237), in San Francisco angewendet, besteht aus einem langen, um eine lotrechte Achse schwingenden Hebel, der zwei Leitrollen trägt und durch den vorbeilaufenden Mitnehmer zur Seite geschoben wird. Sobald der Mitnehmer vorbei ist, bringt ein Gewicht die Rollen in ihre alte Lage über das Seil. Das größte Gefälle, 28 v. H. (1 : 3½), hat die Mornington Trambahn in Dunedin (Neu-Seeland).


Abb. 236. Seilantrieb auf einer Drehbrücke.

Um **Kreuzungen von Linien** zu ermöglichen, sind verschiedene Anordnungen im Gebrauch, ähnlich der in Abb. 238 dargestellten. Dort wird das Seil d_3 der einen Linie durch die Rollen $o\ o_1\ o_2$ aus seiner Höhenlage so weit abgelenkt, daß die Seile d_1 und d_2 der kreuzenden Linien und deren Mitnehmer über d_3 hinweggehen, ohne zu berühren. Da aber diese Seile d_1 und d_2 durch die Schwankungen,

denen sie im Betriebe unterworfen sind, vom Mitnehmer des Seiles d_3 beschädigt werden könnten, so ist eine Hebelvorrichtung angebracht, um d_1 und d_2 beim Kreuzen durch Rollen fest niederzudrücken. Die Hebel sind in die Straße eingebettet und

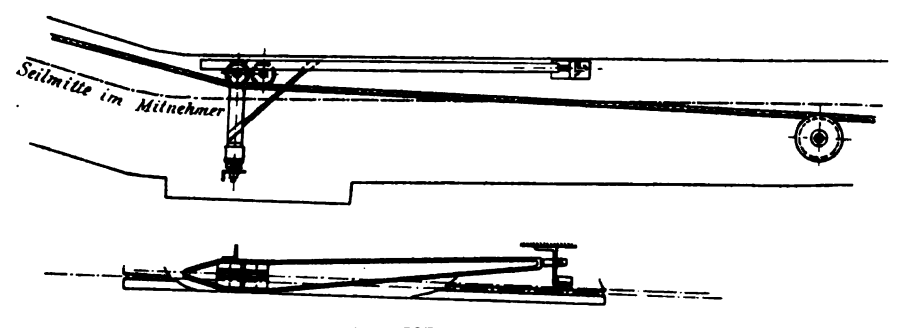


Abb. 237. Seildrücker.

werden nur beim Durchfahren der Kreuzung emporgehoben. Die Mitnehmer des Seiles d_3 müssen vor o loslassen und dürfen erst nach o_2 wieder fassen.

Mitnehmer. Dieselben bestehen meist aus einer 10 mm dicken Blechplatte, welche am unteren Ende zwei Backen oder Rollenpaare in verschiedener Anordnung

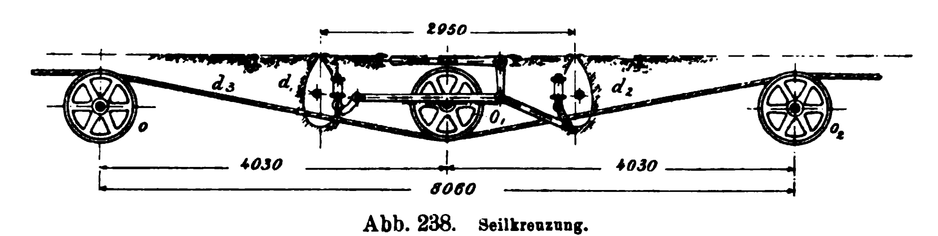


Abb. 238. Seilkreuzung.

trägt, die durch den Wagenführer mittels Kniehebel oder Handrad und Schraube unter beliebigem Druck auf das Seil gepreßt werden können. Die Backen werden mit auswechselbaren Schuhen aus Stahlguß, oder besser aus Weißmetall, versehen. Die Abnutzung der Schuhe ist deshalb eine bedeutende, weil das Seil oft darin gleitet, wenn der Führer, um langsam zu fahren, dieselben nur mäßig zusammenpreßt. Am Mitnehmer angebrachte Daumen sichern beim Abkuppeln ein vollständiges Auswerfen des Seiles. Die Weißmetallschuhe dauern etwa 20 Tage, greifen aber das Seil viel weniger an, als die 60 bis 90 Tage dauernden Gußstahlschuhe. Das häufige Nachsehen und Ausbessern der Schuhe verursacht bedeutende Betriebskosten. Um ein Schleifen des Seiles zu verhindern, sind die neueren Mitnehmer mit Rollen versehen.

In San Francisco verwendet nicht nur jede Gesellschaft ihre eigenen Mitnehmer, sondern sogar verschiedene für die einzelnen Strecken. Abb. 239 zeigt einen, seiner raschen Bedienung wegen sehr beliebten Mitnehmer mit Kniehebelwirkung. Trotzdem die Betätigung der Mitnehmerschuhe durch ein Handrad sehr zeitraubend und unsicher ist, wurde sie seinerzeit doch bei der neuen New Yorker Seilbahn eingeführt. Um die von der Wagenfederung herrührenden Bewegungen nicht auf den Mitnehmer zu übertragen, wird derselbe meist am Drehgestell befestigt.

Seilwechsel. Beim Seilwechsel muß der Mitnehmer an gekennzeichneter Stelle das Seil loslassen und der Wagen die kurze Strecke bis zur Aufnahme des

anderen Seiles durch sein Trägheitsvermögen zurücklegen. Die Führer dürfen die Marke nur um wenige Fuß überschreiten, sonst reißt der Mitnehmer das Seil durch. Um die trotz großer Geschicklichkeit seitens der Wagenführer doch vorkommenden Seilbrüche auszuschließen, haben in neuerer Zeit Schutzvorrichtungen Eingang gefunden, die bei Vernachlässigung der Vorschriften entweder den Mitnehmer zertrümmern, oder das Seil gewaltsam aus ihm herausreißen.

Mitnehmerwagen (grip cars) haben hinter sich noch einen oder zwei Anhängewagen (coach cars) und wiegen drei bis vier Tonnen. Jeder Wagen ist mit kräftigen Bremsen versehen, die bei Vereinigung der Wagen zu gemeinsamem Wirken gekuppelt werden können. Die Mitnehmerwagen haben meist doppelte Bremsen und

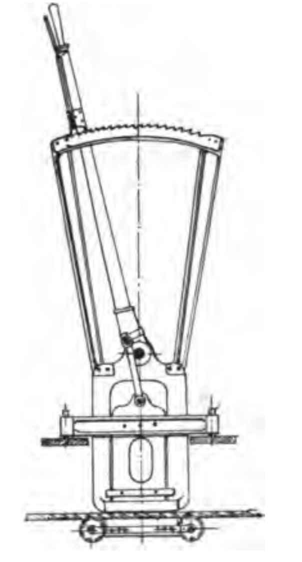




Abb. 239. Mitnehmer.

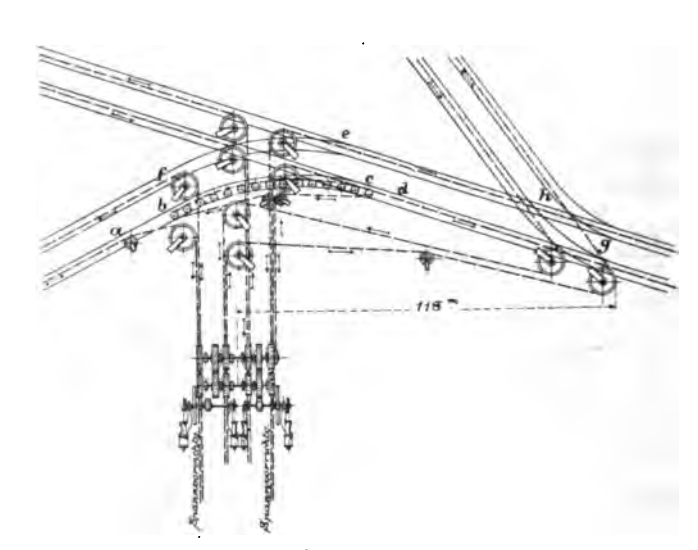


Abb. 240. Linienabzweigungen.

erhalten der scharf ansteigenden Hügel wegen nur geringe Länge, damit das Seil nicht zu sehr abgelenkt werde. Starke, auf die Laufschiene wirkende Schlittenbremsen sollen bei Seilbruch den Wagen auf der größten Steigung halten können. Wagen von 4250 kg werden bei einer Geschwindigkeit von 13 km/Std. auf 1 bis 2 m Bremsweg zum Stillstand gebracht.

Abzweigungen kommen bei Taubahnen auch vor. Abb. 240 stellt die Linienabzweigungen der Market Street (San Francisco) dar. Von den zwei Corlissmaschinen ist eine als Ersatz vorhanden. Die Kurbelwelle treibt durch Räderübersetzung die gemeinsamen Seilscheiben an. Die Station betreibt vier Hauptseile und ein Hilfsseil. Da die Krümmung im Gefäll liegt, durchfahren die Wagen die Strecke *ef* infolge des Trägheitsvermögens ohne Seil. Auf dem Rückweg müssen sie durch ein Hilfsseil hinaufgezogen werden. Bei *a* das Straßenseil loslassend, fassen die Wagen zwischen *b* und *c* das langsam laufende Hilfsseil; bei *d* wird das Hauptseil wieder aufgenommen. Zwischen *g* und *h* fährt der Wagen in beiden Richtungen infolge seiner lebendigen Kraft.

Haupt-(Zentral-)Stationen. Der Antrieb erfolgt durch Reibungstrommeln, welche vom Seil mehrfach umschlungen und durch Dampf angetrieben werden. Zur

Kraftübertragung finden bei Platzmangel Stahlgußzahnräder an Stelle der Hanfseile Verwendung, doch verdienen letztere den Vorzug, weil sie bei den heftigen, im Straßenseil vorkommenden Stößen und möglicherweise eintretenden Brüchen die Maschine vor Schäden bewahren. In Kalifornien finden sich Zweizylindermaschinen mit Kondensation (oft auch Mehrfach-Verbundmaschinen), während im Osten die einzylindrige Corlissmaschine mit Auspuff als die der Regelungsfähigkeit bei Seilbetrieb einzig entsprechende angesehen wird. Innerhalb einer Minute kommen Kraftschwankungen von 300 PS. auf 850 PS. vor. An das Maschinenhaus schließt sich der Kesselraum an, der die in Gruppen aufgestellten Kessel enthält. In Amerika wird meist mit Petroleum geheizt, weil dies viel reinlicher und bequemer zu verfeuern ist als Steinkohle.

Kraftbedarf. Für den Kraftbedarf, ausschließlich Seil- und Maschinenwiderstände, müssen für einen Wagen etwa 4 PS. im Sommer und 5 bis 10 PS. im Winter angenommen werden; für den Gesamtkraftverbrauch im Sommer 10 bis 12 PS. und im Winter 12 bis 18 PS.

Betriebskosten[64]. Nachfolgend ist ein Fall aus Chicago behandelt, in welchem stets ein Greiferwagen nebst Anhängewagen den Taubahnzug bilden und Dreiminutenbetrieb stattfindet. Die Betriebskosten für diesen Zug betragen für das Wagenkilometer:

a) Löhne des Betriebspersonals (ein Schaffner und ein Führer) . .	9,875	Pfg.
b) Löhne des Hilfspersonals, Kosten der Beleuchtung und Heizung	2,650	„
c) Zugkraft	2,520	„
d) Unterhalt der Gleise und des zum Gleise gehörigen Straßenteils	4,188	„
e) Unterhaltung der Gebäude	0,720	„
f) Unterhaltung der Fahrzeuge	3,294	„
g) Allgemeine Ausgaben:		
1. Betriebsleitung und allgemeine Verwaltung	0,621	„
2. Ausgaben für Hypothekenzinsen und Abgaben	2,691	„
Zusammen	26,56	Pfg.

Dabei betrug die Geschwindigkeit 16 km/Std.

Bei einer andern Gesellschaft in Chicago fahren Züge von drei Wagen, bei denen das Wagenkilometer 21,1 Pfg. kostet; bei zwei weiteren 32,8 und 34,2 Pfg. In St. Paul, Minn., ist die niedrigste Kostenziffer 23,7 Pfg., in Denver (Colorado) bei der einen Gesellschaft mit Zweiwagenbetrieb 21,1 Pfg., bei der andern 39,5 Pfg. In Portland stellen sich bei einem Wagen die Betriebskosten auf 55,3 Pfg., in San Francisco bei Zügen von Greiferwagen und Anhängewagen auf 53,8 Pfg., bei „combination cars“ auf 47,4 Pfg. Je nachdem Anhängewagen verwendet werden oder nicht, schwanken die Betriebskosten zwischen 23 und 38 Pfg. Nehmen wir die Betriebskosten für Beförderung eines Reisenden auf der Taubahn zu 1 an, so ergeben sich für die andern Betriebsarten folgende Zahlen:

Dampfstraßenbahn	1,4
Pferdestraßenbahn	1,74
Elektrische Straßenbahn	1,83

Die Anlagekosten von Taubahnen werden durch die notwendige Beseitigung und den Umbau alter Abzugsanlagen und Rohrstränge, sowie durch verschiedene Nebenkosten auf eine ganz ungewöhnliche Höhe getrieben.

[64]) Vgl. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. Bd. XXXVII, S. 1453.



Das Miller'sche Zwillingssystem, welches in New York Anwendung gefunden hatte, bedingt zwei Kabel, welche, nebeneinander auf getrennten Rollen liegend, von gesonderten Betriebsmaschinen bewegt werden. Alle 24 Stunden tritt ein Wechsel in der Taubenutzung ein, und sind an den Wagen für jedes Tau besondere Greifer angebracht.

Rettig's Stufenbahn. Als ein besonderes Verkehrsmittel für Großstädte haben die Brüder Rettig in sich selbst zurückkehrende Bahnen vorgeschlagen, die entweder auf vorhandener Straße als Hochbahnen oder unterirdisch auszuführen wären.

Auf dem in sich geschlossenen Gleise soll sich ein endloser Personenzug mit etwa 1,5 m/sek. Geschwindigkeit bewegen und neben demselben zwei weitere gleichlaufende Züge mit 3 bzw. 4,5 m/sek. Der äußere Zug mit Fußgängergeschwindigkeit gestattet ein bequemes Aufsteigen; ebenso ist das Übersteigen auf die rascher fahrenden Züge leicht. Das Absteigen vollzieht sich in umgekehrter Reihenfolge. Verschieden große Räder, den Geschwindigkeiten entsprechend, gestatten ein sich Überdecken (5 bis 10 cm) der Bahnen. Endlose Seile verbinden die Bühnen eines Wagenzuges. (S. Nachtrag.)

Bis jetzt sind mit der Seil-Stufenbahn keine größeren Versuche gemacht worden, dagegen werden, wie z. B. auf der Pariser Weltausstellung von 1900, jetzt wohl nur noch elektrische Stufenbahnen gebaut.

Beispiele städtischer Taubahnen.

1. Kabelbahn in Los Angeles (Kalifornien). Im August 1884 wurde die erste 2400 m lange Strecke dieser Bahn eröffnet; Mitte der neunziger Jahre hatte dann eine der neun Gesellschaften schon 34 km einfaches Gleis. Die Spurweite beträgt 1070 mm und das Tau (Kabel) bewegt sich in einem Zementkanal, dessen zwei Schlitzschienen 20 kg/m wiegen. Die Laufschienen ruhen auf Eisenschwellen. Die Überschreitung der Eisenbahn von Santa-Fé und des Angelesflusses erforderten große Kunstbauten nach Art der New Yorker Hochbahnen. Der 450 m lange Viadukt hat Spannungen von 15 m und zwei Krümmungen von 18 m Halbmesser. Die Verbundantriebmaschinen mit Zylindern von $\frac{600 \cdot 1050}{1300}$ entwickeln bei 75 Umdrehungen in der Minute 700 PS. (vgl. Engineering 1891, S. 237).

2. Kabelbahnen in Philadelphia. Im Jahre 1883 wurde ein Versuch mit einer kurzen Linie gemacht, der aber mißlang, weil geschlitzte Gußeisenröhren als Seilkanal benutzt wurden. 1886 folgte ein neuer Versuch mit einem Netz von 19 km Länge und Krümmungen von 10,5 m bei Größtgefällen von 50 v. T. Der Seilkanal wird durch ein zusammenhängendes Rohr aus Eisenblech gebildet, welches sich auf Eisenjoche stützt. Es kommen nur Wagen mit Greifern zur Verwendung. Die Anlagekosten betrugen etwa 137 500 Mk. für das Kilometer.

3. Taubahnen in New York. Das Tau der im Jahre 1883 eröffneten, etwa 1800 m langen Strecke auf der Brooklyn-Brücke war nicht in eine Röhre eingeschlossen, sondern lag auf Rollen, wenig über der Fahrbahn erhoben. Das Doppelgleis von 1635 mm Spurweite bestand aus Schienen von 27,5 kg/m. Das Tau hatte 37 mm Durchmesser, bestand aus 6 Litzen zu 19 Drähten und Hanfseele und wog 5,2 kg/m. Zwei wagrechte Dampfmaschinen, von denen aber immer nur eine im Dienst war, hatten Zylinder von 650/1220 mm und bewegten das Seil mit 16 km/Std. Das Ausfüttern der 10 m voneinander entfernten Seilrollen mit Leder und Kautschuk



bewährte sich. Der Mitnehmer (Abb. 241) bestand aus vier Rollen, die zur Wagrechten etwa um 30° schief gestellt waren. Radial gestellte Leder- und Kautschukstücke füttern die Rollenkehlen aus. Durch Federn wurden die Rollen, je nach der Abnutzung, selbsttätig nachgestellt. Die Wagen hatten bei 14,6 m Länge ein Leergewicht von 10 t, hatten 80 Sitzplätze und konnten im Notfalle 150 Personen fassen. Klotz- und Luftsaugbremsung war vorgesehen. Die größte innerhalb 24 Stunden beförderte Personenzahl betrug 100000, die größte Zahl in der Stunde 12000.

Außer den vielen Taubahnen in den großen Städten Nordamerikas gibt es solche in England (Highgate Hill in London, Birmingham, Glasgow, Edinburg, Douglas [J. o. M. usw.], in Portugal (Lissabon, von der Maschinenfabrik Eßlingen in Eßlingen ausgeführt), in Frankreich (Belleville in Paris), sowie in Australien. In letzterem Weltteil steht Melbourne an der Spitze mit 77 km Straßenbahnen, von denen 70 km mit Drahtseil betrieben werden. Die Melbourner Taubahnen gelten für die ausgedehntesten und besten der Welt und haben auch 4 km Untergrundbahn mit Seil.

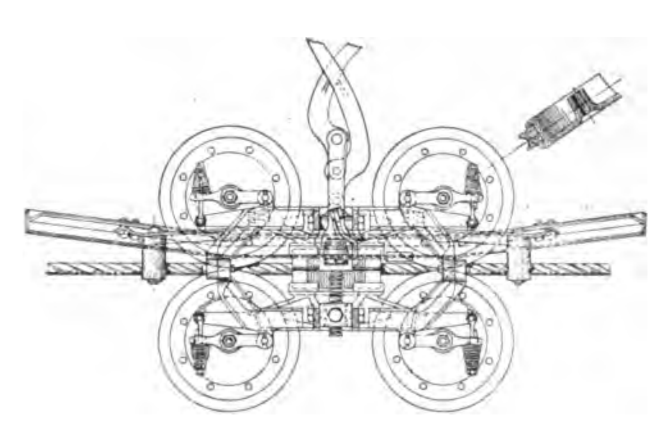


Abb. 241. Mitnehmer.

Die seit 1882 betriebene Taubahn von Dunedin (Neuseeland), welche Roslyn und Maori verbindet, ist dadurch bemerkenswert, daß sie eingleisig angelegt ist.

In New York wurde vom 25. bis zum 27. Mai 1901 die letzte Taubahn, Broadwaybahn, von 1000 Arbeitern auf elektrischen Betrieb umgebaut[65]).

§ 21. Agudio's Seilebenen[66]). — Der italienische Ingenieur Thomas Agudio hat im Jahre 1863 eine eigentümliche Seilebenenanordnung getroffen und dieselbe auf einer Versuchsstrecke der Turin-Genuabahn bei Dusino ausgeführt. Bei dieser Anordnung werden die auf gewöhnlichen Schienengleisen laufenden Wagenzüge durch feststehende Maschinen (Dampfmaschinen oder Turbinen) mit Hilfe von Seilsträngen bewegt, wobei jedoch zum Unterschied von anderen Seilbahnen die Kraftübertragung auf den zu befördernden Wagenzug durch Seile ohne Ende vermittels eines Rollenwagens (Lokomotor) geschieht und zwar in solcher Weise, daß dieser sich erst in Bewegung setzt, nachdem ein besonderer Mechanismus willkürlich eingerückt worden ist, wobei die Fahrgeschwindigkeit wesentlich kleiner ausfällt als die Geschwindigkeit des treibenden Seiles. Hierdurch und durch die besondere Art der Kraftübertragung von der feststehenden Betriebsmaschine auf das bewegte Seil werden dessen Gewicht und Steifigkeit und in der Folge auch die Bewegungshindernisse bedeutend vermindert; eine Überanstrengung desselben kann nicht eintreten und der

---

[65]) Eng. News, 30. V. 1901.

[66]) Vgl. Röll's Encyklopädie d. ges. Eisenbahnwesens I. Bd., S. 85—87. Ebenso: Eisenbahn Bd. IV, 1876, S. 217, 229, 309, 321. — Couche, Voie, Matériel Roulant et Exploit. techn. d. ch. d. f. Paris 1873, S. 765—804.



Wagenzug kann, unabhängig von der Betriebsmaschine, vom Rollenwagen aus angehalten oder in Bewegung gesetzt werden.

Die Strecke von Dusino, 2400 m lang, war wegen Beweglichkeit des Erdreichs und übermäßiger Unterhaltungskosten verlassen worden. Sie lag in einer Steigung von 27 bis 32 v. T. und war zum größten Teil krummlinig (doppelt S-förmig) mit Halbmessern von 600 bis 350 m. Die eingleisige Bahn beförderte Züge in beiden Richtungen. Ein in sich selbst zurückkehrendes Stahldrahttreibseil, welches an beiden Enden über Rückkehrrollen lief, wurde auf der Strecke durch kleine Rollen getragen. Beide Seilzweige lagen innerhalb des Gleises, nahe bei den Schienen. Die Vorwärtsbewegung geschah durch ein starkes Schleppseil, welches, die Mitte des Gleises einnehmend, über ein Paar mit mehreren Kehlen versehene, vom Triebseil bewegte Rollen des Rollenwagens geschlungen war. Oben fest verankert diente es lediglich zum sicheren Angriff der Zugkraft, ähnlich wie die Kette oder das Tau bei der Schleppschiffahrt. Die Versuchsstrecke von Dusino verwendete zwei zu gleicher Zeit arbeitende Antriebsmaschinen, nämlich festgelegte, zweiachsige Tenderlokomotiven, von denen an jedem Ende eine mittels eines mehrmals umschlungenen Rollenpaares das Seil antrieb. Treib- und Schleppseil waren mit Spannvorrichtungen versehen [67]).

Die Treibräder der Lokomotiven wurden durch Hebelbelastung auf die unterhalb liegenden Seilscheiben gepreßt. Die untere Lokomotive trieb den abwärts laufenden, die obere den aufwärts gehenden Zweig des Treibseiles. Der Rollenwagen (Abb. 242) trägt drei Paar Hauptseilrollen, sämtliche zweikehlig, und zwar für jeden Zweig des Treibseiles sowie für das Schleppseil je ein Paar. Das Treibseil bewegt sich n-mal rascher als der Umfang der Schleppseilrollen. Bei der Bergfahrt des Rollenwagens hat der aufwärts laufende Seilzweig in bezug auf den Wagen eine Geschwindigkeit von $nv - v$ oder $(n - 1)\,v$, der abwärts laufende Zweig dagegen $nv + v$ oder $(n + 1)\,v$, wenn die Umfangsgeschwindigkeit der Schleppseilrolle v ist. Die Maschine auf dem Rollenwagen muß daher eine Einrichtung besitzen, die erlaubt, daß der Umfang der zum aufsteigenden Treibseil gehörigen Rollen $(n - 1)$ mal, der zum absteigenden Treibseil gehörigen $(n + 1)$ mal so schnell sich bewegt als die Schleppseilrollen. Die Kraftübertragung für das aufsteigende Treibseil geschieht durch Reibungsscheiben, für das absteigende durch Zahnräder. Abb. 243 und 244 auf S. 223, in denen die Rollen der beiden Treibseilzweige voneinander getrennt sind, während sie auf dem Rollenwagen vereinigt den Hauptbestandteil desselben bilden, lassen die Kraftübertragung erkennen. In Abb. 243 ist der aufsteigende Treibseilzweig links des aufsteigenden Zuges, in Abb. 244 der absteigende Zweig des Treibseiles rechts des aufsteigenden Zuges dargestellt. Es bedeuten:

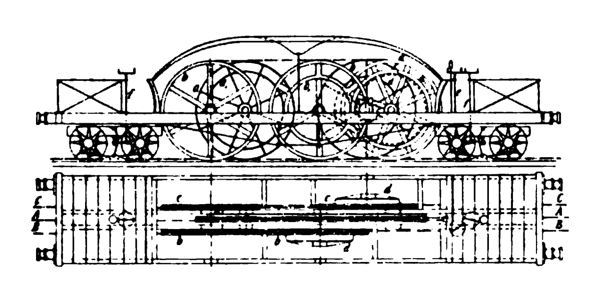


Abb. 242. Rollenwagen (Lokomotor) von Dusino.

a Rollen des Schleppseiles ($d = 2{,}5$ m);

---

[67]) Vergleichende Berechnungen des Nutzeffektes der Seilebenen mit Lokomotivbetrieb (System Maus und Bauart Agudio) s. Handb. für Spez. Eisenbahntechnik, V. Bd., S. 768 u. f.



a_1 Reibungsscheiben, mit a zusammenhängend, zur Aufnahme der Kraft des aufsteigenden Treibseiles ($d = 2$ m);

a_2 Zahnrad mit der abwärts liegenden Rolle a zusammenhängend, zur Aufnahme der Kraft des absteigenden Treibseiles;

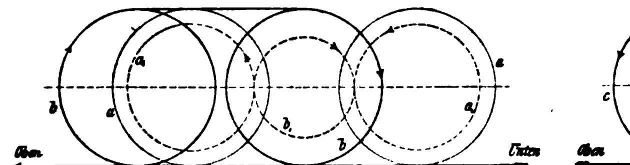
b Rollen des aufsteigenden Treibseilzweiges ($d = 2{,}5$ m);

b_1 Reibungsscheibe, mit der abwärts liegenden Rolle b zusammenhängend ($d = 1{,}6$ m) und mit a_1 im Eingriff;

c Rollen des absteigenden Treibseilzweiges ($d = 2{,}5$ m);

c_1 Zahnrad, mit a_2 im Eingriff, zusammenhängend mit der abwärts liegenden Rolle c.

Zu bemerken ist, daß die im aufsteigenden Seil zur Kraftübertragung auf die Schleppseilrollen a notwendige große Reibung zwischen b_1 und a_1 durch das Schleppseil selbst bewirkt wird, welches sich zweimal über die Rollen a schlingt; ferner,



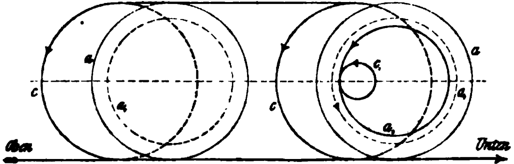


Abb. 243, 244. Treibseilrollen.

daß für a_2 und c_1 innere Verzahnung gewählt werden mußte, um die Übertragungsrichtung beider Treibseilzweige übereinstimmend zu erhalten. Durch Verwendung von Reibung zwischen a_1 und b_1 können sich kleine Unregelmäßigkeiten der Zahnräder ausgleichen. Wichtig ist auch, daß sowohl Reibungsscheibe b_1 als auch Zahngetriebe c_1 nicht unmittelbar mit den zugehörigen Seilrollen b und c zusammenhängen, sondern, lose auf den Achsen sitzend, durch kräftige Reibungskuppelungen d mit ihnen verbunden werden können. Diese von Köchlin angegebenen Kuppelungen bestehen aus drei gußeisernen Kreisabschnitten, welche, seitwärts der Seilrolle gelegen, durch Hebel und Schrauben genähert oder entfernt werden können und sich in einen entsprechenden Ring der Seilrollen einpressen. Dadurch kann der Zug an jeder beliebigen Stelle anhalten und das Treibseil ist gegen Überanstrengungen geschützt.

Die zuerst rundlich ausgedrehten Kehlen der Wagenseilrollen boten nicht die nötige Reibung gegen Seilrutschen, weshalb sie später trapezförmig, ziemlich tief und mit fest eingeschlagenen, geteerten Hanfseilen ausgeführt wurden. Der auf zwei zweiachsigen Drehgestellen ruhende Rollenwagen (Abb. 242) hat etwa 12 m Länge und trägt zwei verschiedene Bremsen: einmal kann ein hölzerner Bremsblock durch e gegen die Reibungsscheibe a_1 des Schleppseiles gedrückt, das andere Mal je ein Paar Schlittenbremsen an den Drehgestellen durch ff in Tätigkeit gesetzt werden.

Die Rollenentfernung beträgt in der Geraden 10 m, in den Krümmungen 6 bis 8 m, und die Zapfenreibung der Leitrollen ist durch Lagerung auf Reibungswalzen auf ein Kleinstmaß gebracht.

Seilbahn bei Lang-le-Bourg. Die am Mont Cenis von Lang-le-Bourg nach Suze ausgeführte Versuchsstrecke von 2,3 km Länge mit größter Steigung von 1 : 2,6 und Krümmungshalbmessern bis auf 150 m herunter, unterscheidet sich von der vorigen hauptsächlich durch Anwendung einer Zahnstange. Da es sich nämlich

gezeigt hatte, daß die gebremst zu Tal fahrenden Bahnzüge auf stark geneigten Strecken das früher benutzte starke, in der Gleisachse liegende Schleppseil merklich angriffen, so wurde dasselbe am Mont Cenis durch eine Zahnstange mit beiderseitigen Zähnen ersetzt. In diese, der ganzen Länge nach durchlaufende Zahnstange griff der Triebwagen mit zwei einander gegenüberliegenden wagrechten Zahnrädern ein. Die Umdrehung dieser Zahnräder erfolgte durch die am unteren Bahnende aufgestellte Betriebsmaschine (zwei Girard'sche Turbinen mit wagrechter Achse) unter Zuhilfenahme zweier Treibseile ohne Ende. Im allgemeinen ist die Versuchsstrecke von Lang-le-Bourg ähnlich gebaut wie die nachstehend beschriebene Supergabahn, welch letztere aber nur ein endloses Treibseil hat, dessen aufsteigendes, außerhalb der Schienen liegendes Trum zur Kraftabgabe verwendet wird.

Seilbahn auf die Superga[68]. Diese nach Agudio's Bauart angelegte Bahn wurde im Mai 1884 dem Verkehr übergeben. Sie beginnt bei der Station Sassi der Dampfstraßenbahn Turin-Gassino-Brusasco und führt auf den Gipfel des von König Vittorio Amedeo zum Gedächtnis an die Belagerung Turins (1706) mit einer großen Basilika geschmückten Berges. Die Supergabahn hat eine Länge von 3130 m und bei 419 m Höhenunterschied der Endpunkte eine durchschnittliche Steigung von 13,4 v. H.; die wirkliche Steigung schwankt zwischen 0 und 20 v. H. Die Fahrzeit beträgt bei 2,5m/sek. Geschwindigkeit 20 Minuten. Infolge des stark durchschnittenen Geländes läuft nur etwa die Hälfte der Bahn geradlinig, die andere Hälfte hat Krümmungen von 1000 bis zu 300 m Halbmesser. Es sind zwei kurze Tunneln von 67, bzw. 61 m Länge, sowie zwei bedeutende Einschnitte von 8 und 10 m Tiefe vorhanden und zwei Haltestellen vorgesehen. Abb. 245 zeigt in Hauptlinien die Anordnung

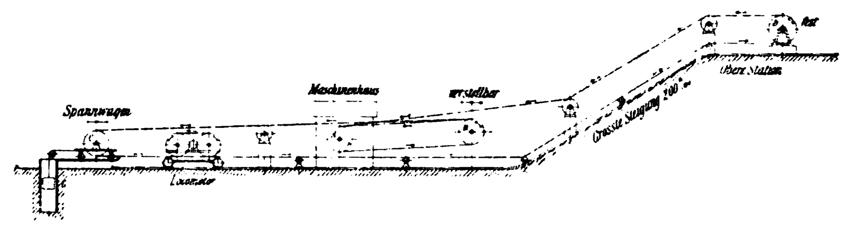


Abb. 245. Supergabahn.

der Bahn. Das Maschinenhaus enthält zwei Dampfmaschinen (mit Sulzersteuerung) von je 250 PS., welche, bei 55 Umdrehungen in der Minute, zunächst die vierrillige Scheibe A in Bewegung setzen. Die Scheibe B ist in der Längsrichtung der Bahn verstellbar angeordnet und dient zur Regelung der Seillänge für den Fall, daß bei größeren Zügen ein zweiter Triebwagen eingeschaltet wird. C ist eine, auf einem Spannwagen ruhende Seilscheibe, während D eine einfache, festgelagerte Umkehrscheibe ist. Das Seil läuft mit der zum Treiben dienenden Hälfte an der linken Seite des Gleises auf Rollen von 0,35 m Durchmesser. Die andere, nicht treibende Seilhälfte liegt 4,25 m über den Schienen und wird in der geraden Strecke von 52 auf gemauerten Pfeilern ruhenden Seilrollen ($d = 1{,}0$ m) mit wagrechter Drehachse getragen, in den Krümmungen dagegen von Rollen mit lotrechter Achse ($d = 2{,}3$ m). Die Entfernung der Pfeiler beträgt etwa 100 m, die Seilrollenentfernung in der Geraden 16 bis 18 m, in den Krümmungen 8 bis 10 m. Die kleinen Rollen für die

[68]) Vgl. Schweiz. Bauztg. 1884, Bd. IV, S. 65.

Krümmungen sind 0,32 m breit und haben nach der erhabenen Seite einen, das Abspringen des Seiles verhütenden Arm (siehe Abb. 246). Das Treibseil von 23 mm Durchmesser wiegt 1,5 kg/m und besteht aus sechs Litzen zu acht Drähten von je 1,8 mm Durchmesser. Das absteigende Seiltrum ist mit dem aufsteigenden (treibenden) nicht gleichlaufend, sondern kreuzt sogar die Linie, um gerade geführt werden zu können. Die Seilspannung beträgt nur 1640 kg, da sich das Seil $4^1/_2$ mal schneller bewegt als der Zug, somit 13,5 kg/qmm. Die Bruchfestigkeit ist zu 140 kg/qmm angegeben.

Das Gleis (Abb. 246 und 247) besitzt 1,49 m Spurweite. Die 17 kg/m schweren breitfüßigen Schienen ruhen auf eichenen Langschwellen von 180/180 mm. ⊓ Eisen von 112 mm Breite und 1,7 m Länge (9,5 kg/m) bilden mit nach unten gekehrten Flanschen die Querschwellen und lehnen sich, um ein Rutschen des Gleises zu verhüten, talwärts an 1,7 m tief eingerammte Eichenpfähle. Der Abstand der Querschwellen beträgt normal 1,35 m, im oberen, steilsten Teil mit scharfen Krümmungen dagegen nur 0,9 m. Zwei längere, im Abstand von 0,45 m verlegte Schwellen nehmen jeweils die Seilleitrollen auf. In der Gleisachse läuft auf hölzerner Langschwelle (270/180 mm) die an Stelle des Schleppseiles getretene Zahnstange. Sie besteht aus zwei übereinander liegenden ⊔ Eisen, welche alle 50 mm durch verschränkt stehende Nieten miteinander verbunden sind. Um diese Nieten schlängelt sich ein 12 mm dickes und 110 mm breites Stahlband. Jede neunte Niete ist durch einen Schraubenbolzen ersetzt, welcher die Zahnstange auf der Langschwelle festhält. Die Länge der Stahlbänder beträgt 1,8 m, vermindert sich aber infolge der Falten auf ein Drittel. Die ebenfalls 1,8 m langen ⊓ Eisen gestatten den Bahnkrümmungen leicht zu folgen. Ihre Stöße sind den Stahlbändern gegenüber versetzt, so daß die Zahnstange ein Ganzes bildet. Ihr Gewicht beträgt 54 kg/m.

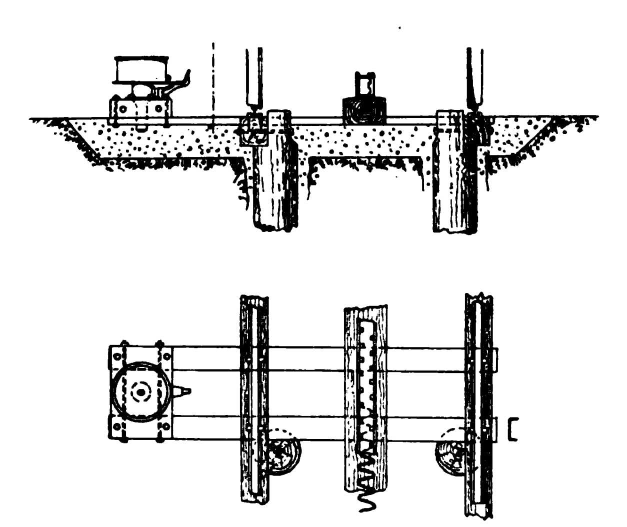
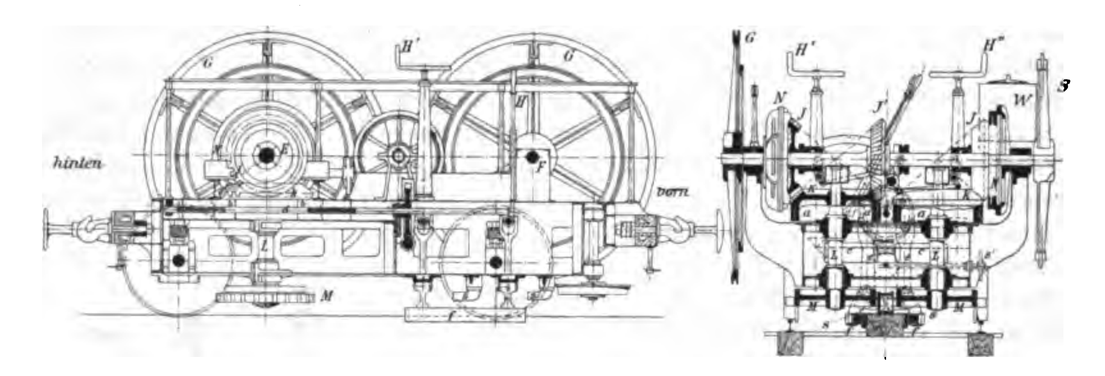


Abb. 246, 247. Oberbau der Supergabahn.

Der Triebwagen (1872) ist wesentlich anders als bei früheren Ausführungen und weist folgende Hauptteile auf[69] (Abb. 248 bis 250). Die beiden wagrechten Wellen E und F tragen an ihrem linken Ende, 1,2 m von der Wagenlängsachse entfernt, die beiden gekehlten Treibrollen $G\,G$ ($d = 2{,}24$ m), über welche das Drahtseil geschlungen ist. Ihre Bewegung wird durch kegelförmige Zahnräder JJ ($d = 0{,}552$ m) und KK ($d = 0{,}642$ m) auf die lotrechten Wellen LL übertragen, welche unten die mit der Zahnstange in Eingriff stehenden Räder MM ($d = 0{,}74$ m) tragen. Damit die Bewegung des Seiles dem Wagen beim Anfahren nur allmählich mitgeteilt wird und der Führer den Zug auch unterwegs anhalten kann, sitzen die Zahnräder JJ lose auf der Welle E, können aber an die festsitzenden Reibungsräder NN ange-

[69]) S. Schweiz. Bauztg. Bd. IV, 1884, S. 66.

preßt werden. Letzteres geschieht durch Umstellen des Hebels H, welcher mittels eigentümlicher Übersetzung sechs Klötzchen in der Form von Kreisabschnitten gleichzeitig an die Innenfläche der Räder NN drückt.



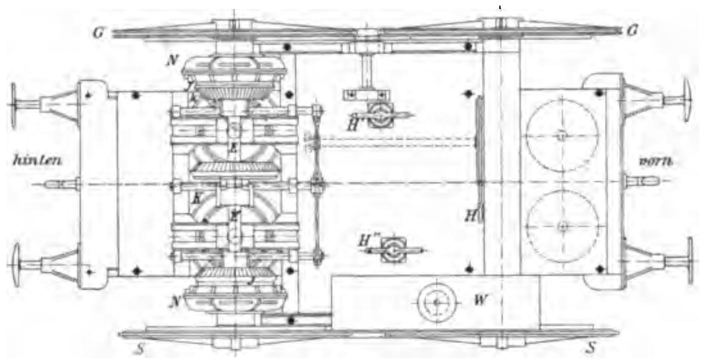


Abb. 248, 249, 250. Triebwagen (Superga).

Zum Rückwärtsfahren auf Stationen wird durch Umlegen des Hebels H das Zahnrad J' zum Eingriff gebracht. Vier mit der Zahnstange immer im Eingriff stehende Sperrklinken ss halten bei Seilbruch oder Auslösen der Reibungsräder den Wagen an, und werden für die Talfahrt durch das Handrad s' zur Seite gedreht. Die Talfahrt erfolgt durch das Eigengewicht des Zuges und wird die gleichmäßige Geschwindigkeit durch Bremsen erhalten. In erster Linie werden hierfür vermittels der Kurbel H' Bremsklötze bb an die auf den Wellen LL befestigten gußeisernen Scheiben aa gepreßt. Die Bewegung wird durch zwei Keilräder auf die Welle cc und von dieser durch ein Schneckenrad auf Welle d übertragen, welch letztere Rechts- und Linksgewinde trägt. Aus dem Behälter W wird fortwährend Kühlwasser auf die Bremsflächen geleitet. Durch Bewegen des Hebels H können die Zahnräder JJ leicht an die Reibungsräder NN gedrückt und so das Treibseil, welches bei der Talfahrt in Ruhe ist, zum Bremsen verwendet werden. Die eisernen Bremsbacken ff fassen die hölzerne Langschwelle unter der Zahnstange, wenn die Hebelarme ee mit Hilfe der Kurbel H'' oben auseinandergetrieben werden. Endlich tragen die Wellen E und F an ihren rechtsseitigen Enden zwei Scheiben SS, über welche ein Bremsband geht. Die Seilgeschwindigkeit beträgt 11,25 m/sek., wenn sich der Triebwagen mit 2,5 m/sek. bewegt. Das Triebseil kann infolgedessen erheblich schwächer sein, als wenn es unmittelbar als Zugseil wirken würde.

An Fahrzeugen sind vier geschlossene und sechs offene Personenwagen mit je 32 bzw. 40 Plätzen vorhanden. Die geschlossenen Wagen haben 12 Plätze I. Klasse und 20 Plätze II. Klasse. Ein gewöhnlicher Zug besteht aus drei Wagen (150 Personen). Bei starkem Andrang werden Doppelzüge, aus sechs Wagen und zwei Trieb-

wagen bestehend, gebildet, welche 36 t wiegen. Daraus ergibt sich bei 2,5 m/sek. Geschwindigkeit und 20 v. H. Steigung (Reibungswiderstand = $^1/_{200}$) die Zugkraft zu

$$\frac{7380 \cdot 2,5}{75} = 246 \text{ PS.}$$

Die Verständigung zwischen Maschinenhaus und Triebwagen geschieht durch ein elektrisches Läutewerk, indem ein neben dem Gleis laufender Draht gestattet, durch ein- oder mehrmaliges Berühren mit einem Drahtende verschiedene Zeichen zu geben.

Die Ausgangsstation Sassi besitzt einen Schuppen mit vier Gleisen für zwölf Wagen und ein einfaches Aufnahmsgebäude, zwischen beiden drei Gleise. Im Maschinenhaus stehen vier Cornwallkessel von 8,55 m Länge, 1,6 m Durchmesser und 4 bis 6,5 Atm. Druck. Der Abdampf wird verdichtet. Die Dampfmaschinen haben Sulzersteuerung und arbeiten mit veränderlicher Ausdehnung. Der Zylinderdurchmesser beträgt 0,575 m, der Kolbenhub 1,2 m.

Die Bahn wurde von einer Aktiengesellschaft erbaut. Die technische Leitung besorgte der Erfinder, Ingenieur Comm. Th. Agudio. Fast für jede größere Gebirgsbahn hat derselbe Entwürfe ausgearbeitet, so für die Gotthard-, Arlberg-, Simplonbahn usw., jedoch ohne Erfolg[70]).

§ 22. Vesuv-Bahn. — Die Bahn[71]), nach Plänen von Ingenieur Olivieri in Mailand durch Ingenieur Dall'Ongaro im Herbst 1879 begonnen, war seit Juni 1880 im Betrieb und diente zur Personenbeförderung an den Krater. Im Mai 1900 abgebrannt, ist sie durch eine gewöhnliche Seilbahn mit Zangenbremsen und unten liegender Antriebstation[72]) ersetzt worden. Sie ist Eigentum von Thos. Cook & Son.

Die einschienige Bahn (Bauart Treiber) hatte ihren Anfangspunkt etwa 800 m ü. M., war 820 m lang und zeigte Steigungen von 40 bis 63 v. H. Die obere Station liegt 1180 m ü. M., somit beträgt die überwundene Höhe 380 m. Von der oberen Station sind bis an den Kraterrand noch 85 m zu Fuß zu ersteigen. Die Hauptschwierigkeiten bestanden in den Fundamentierungsarbeiten für die Stationen, sowie in der Befestigung des Unterbaues gegen Abrutschen.

Zwei gleichlaufende, geteerte Pitchpinelangschwellen (260/540 mm), bestehend aus je zwei miteinander verschraubten Balken waren in einem Abstand von 2,1 m auf hölzerne Querschwellen verschraubt. Diese letzteren, mit 1,5 m Abstand verlegt, waren durch Diagonalstreben versteift und das gesamte Holzwerk an neun Stützpunkten festgelegt. Die schmiedeisernen, als altes Material an die Bahn gekommenen Vignolschienen wurden in der Nähe des Stoßes durch einen gußeisernen Stuhl mit Keil aufgenommen, und waren im übrigen in Abständen von 1 m auf die Längshölzer festgenagelt. Laschenverbindungen waren nicht vorhanden. Am Fuß der Seitenflächen der Längsbalken waren Flacheisen für die seitlichen Führungsrollen der Wagen aufgeschraubt.

Die Wagen hatten vorn und hinten ein Laufrad mit doppeltem Spurkranz. Zur Unterstützung in der richtigen Lage dienten zwei Paare seitlich angeordneter

---

70) Vgl. Schweiz. Bauztg. 1886, Bd. VIII, S. 11.

71) Vgl. Meyer, Grundzüge d. Eisenbahnmasch.-Baues IV. Bd., S. 278.

72) Strub, Die Vesuvbahn, Schweiz. Bauztg. 1903, Bd. XLI Nr. 16, 17, 19, 20 u. Bd. XLII Nr. 4. Ebenso: Rev. gén. d. ch. d. f. 1903, S. 271. Génie civ. 1904, S. 309. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenb.-Wesens 1904, S. 277. Capocci, La ferrovia Vesuviana, S. 4 u. f.

Rollen. Um dieselben möglichst wenig zu belasten, waren die beiden Laufachsen so am Wagen angebracht, daß die Verbindung derselben oberhalb des Wagenschwerpunktes lag. Die Wagen boten je zehn Sitzplätze und wogen 2,2 t. Jeder Wagen hatte zwei Bremsen: eine Schraubenbackenbremse, von dem am oberen Wagenende sitzenden Führer durch ein Handrad bedient und auf die Langschwellen wirkend; sowie eine Seilbruchbremse mit Federklemmbacken, welche ebenfalls an den Seiten der Langschwelle angriff. Die Bremsen waren nicht erprobt, doch ereignete sich in den 20 Jahren des Betriebes kein Unfall ernster Natur.

Ein in sich geschlossenes Drahtseil von 2,7 kg/m Gewicht und 35 t Bruchfestigkeit verband die beiden Wagen. Überdies war ein Sicherheitsseil vorhanden, das auch einmal richtig in Tätigkeit trat. Auf der offenen Strecke lagen vier Seilstränge, welche, wenig über dem Boden geführt, in hölzernen Tragrollen liefen. Die Seilgeschwindigkeit betrug 2 m/sek., die Fahrzeit 7 bis 8 Minuten.

Der Antrieb der Bahn erfolgte von der unteren Station aus, wo eine 40 PS.-Dampfmaschine aufgestellt war. Das Wasser für dieselbe wurde auf großen flachen Dächern gesammelt und in einen Behälter geleitet. Die Anordnung der Leiträder und Spannvorrichtung war nach Bauart Agudio.

Sand- und Schneestürme hinderten den Betrieb oft, und mit der Zeit kam der mittlere Teil der Bahn immer tiefer in den Einschnitt zu liegen, weil der ausgeschöpfte Sand auf die Böschungen geworfen wurde.

Die ganze Anlage kostete 1,2 Mill. Mark[73]).

Die umgebaute Vesuvbahn[74]) benützt das alte Tracé, nur ist dasselbe von den Stationen aus bis zu 3 m über die alte Bahnkrone gehoben. Der durchgehende, aus Lavasteinen hergestellte Bahnkörper nimmt das aus Keilkopfschienen bestehende Gleis mit selbsttätiger Ausweiche, auf. Die alten Schienen dienen als Querschwellen und sind in Zementguß gelagert. In Abständen von 20 m sind Mauersätze als Stützpunkte erstellt.

Abb. 251 zeigt die Seilführung in den Hauptlinien. Das obere Seil, Lastseil, geht über die Führungsrolle a und wird durch die Rolle b gespannt. Letztere ist außerhalb des Stationsgebäudes, damit Last- und Zugseil gleiche Länge haben und somit das aus-

Abb. 251. Seilführung.

[73]) Vgl. Schweiz. Bauztg. 1886, Bd. VII, S. 127.

[74]) Schweiz. Bauztg. 1903, S. 221 u. f.



gediente Lastseil noch als Zugseil Verwendung finden kann. Die Spannrolle, auf einem Schlitten gelagert, wird von Zeit zu Zeit, der Seillängung entsprechend, in die Höhe gezogen. Das Zugseil dient auch zur Ausgleichung des Lastseilgewichtes. Wie bei der früheren Anordnung muß die Seilreibung durch die Gewichte gg, welche die Spannung vergrößern, gehoben werden. Die Seilumwicklung beträgt im ganzen 700°, wobei für Seil auf Grauguß ein Reibungskoeffizient von 0,09 gerechnet werden kann. Die Seile haben 32 mm Durchmesser (3,4 kg/m) und rund 50000 kg Bruchfestigkeit.

Die Antriebstation mit ihren Bremsen usw. ist in der üblichen Weise eingerichtet und wird durch einen 50 PS.-Gleichstrom-Nebenschluß-Motor angetrieben (550 Volt, $n = 600$).

Die Wagen haben in drei offenen Abteilen 18 Sitz- und vier Stehplätze. Vorn und hinten ist eine Plattform. Sie haben eine Handzangen- und zwei selbsttätige Bremsen.

Die Umbaukosten beliefen sich auf etwa 128000 Mk.

Am 25. September 1904 brannte die obere Seilbahnstation infolge starker Tätigkeit des Vesuv ab, wobei das Seil stark beschädigt wurde. Die heftigen Ausbrüche vom April 1906 zerstörten die Seilbahn vollständig.

Die mechanische Einrichtung des Umbaues besorgte die Gießerei Bern, den elektrischen Teil die Unternehmung Brown, Boveri & Co. in Baden.

Die neue Vesuvbahn ist deshalb bemerkenswert, weil sie die einzige neuere Seilbahn mit untenstehender Antriebstation ist.

§ 23. Vergnügungs-(Touristen-)Bahnen. — Allgemeines. Die entweder im Anschluß an Haupt- und Nebenbahnen, oder auch unabhängig von diesen in verkehrsreichen Gegenden eingerichteten Seilbahnen, welche fast ausschließlich dem Personenverkehr dienen, haben Doppelbetrieb (ausgenommen Lausanne-Bahnhof), d. h. es fährt immer ein Wagen bergwärts, während der andere talwärts geht. Hierdurch wird es möglich, die beim abwärts fahrenden Zuge entwickelte Arbeit der Schwerkraft zur Bergwärtsbewegung des anderen Zuges nutzbringend zu verwenden. Außer der zur Überwindung der Reibungswiderstände und dem Unterschied der Seilteilkräfte notwendigen Kraft ist nur noch der zur Hebung der reinen Nutzlast notwendige Arbeitsaufwand erforderlich. Es bestehen Seilbahnen von 6 bis 63 v. H. Steigung und 30 bis 1400 m Höhenunterschied.

Die Forderung der billigen Herstellung und des billigen Betriebes wird durch eine Seilbahn am besten erfüllt, desgleichen zeigt die Erfahrung mit den 32 in der Schweiz im Betrieb befindlichen Seilbahnen, daß diese Bauart auch mit Rücksicht auf die Betriebssicherheit größte Gewähr leistet. Durch die kurze Baulänge einer Seilbahn, welche sich dem Gelände anpassen kann, wird das landschaftliche Bild wenig gestört. Die Betriebssicherheit übertrifft in einigen Punkten diejenigen, welche Reibungsbahnen bieten. Diese sind vor allem: Zuverlässigkeit der Stahldrahtseile, kleine Fahrgeschwindigkeit, zuverlässige Bremsen, einfacher Betrieb, kurze, einfach zu unterhaltende Bahnanlage.

Längenschnitt. Für jede Anlage gibt es nur einen richtigen Längenschnitt; jede Abweichung von demselben bedingt einen Mehrverbrauch an Betriebskraft. Wird letztere durch Wasser ausgeübt, so werden schwerere Wagen, schwereres Seil, stärkere Abnutzung und größere Betriebskosten die Folge sein. Wagrechte Strecken und Gegensteigungen sind von vornherein ausgeschlossen.

Ein theoretisch richtiger Längenschnitt ist vorhanden, wenn während der ganzen Fahrt die Geschwindigkeit der gleichmäßig belasteten

Züge (Wagen) eine gleichförmige ist und die Bremsarbeit gleich Null wird. Die Gleichung dieser Schnittkurve ergibt eine Parabel. Bahnen mit theoretisch richtigem Längenschnitt gibt es nicht, doch nähern sich demselben beispielsweise in der Schweiz die Anlagen von Lugano, Salvatore, Bürgenstock, Ragaz-Wartenstein und Stanserhorn, in Südtirol die Mendelbahn u. a.

Für Bahnen mit Wasserballast lautet die Formel der auf rechtwinklige Koordinaten mit lotrechter Ordinatenachse bezogenen Parabel:

$$y = \frac{L}{L_1}\left(\frac{(P+P_1+Q)f+C}{P_1+Q-P} - \frac{p\cdot H}{P+P_1+Q}\right)\cdot x + \frac{(P+P_1+Q)f+C}{P_1+Q-P}\cdot\frac{p}{P+P_1+Q}\left(\frac{L}{L_1}\right)^2\cdot x^2. \tag{I}$$

Es bezeichnet (Abb. 252):

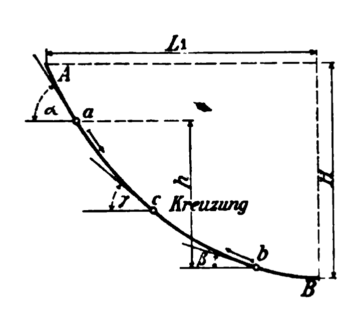


Abb. 252. Längenschnitt.

AB den Längenschnitt einer Seilbahn,
L_1 = wagrechte Länge,
L = schief gemessene Länge,
H = Höhenunterschied,
α = Neigungswinkel des Gleises unter dem abwärts gehenden Wagen,
β = Neigungswinkel des Gleises unter dem aufwärts gehenden Wagen,
γ = Neigungswinkel in der Kreuzung (Ausweiche),
h = Höhenunterschied zwischen a und b,
p = Seilgewicht in kg/m,
C = notwendige Kraft zur Erhaltung der Bewegung auf ebener Strecke,
P = Gewicht des aufsteigenden Wagens,
P_1 = Gewicht des abwärts fahrenden Wagens,
Q = Wasserballast des abwärts fahrenden Wagens,
f = Reibungsziffer,
F, F', F'' = Bremsdruck entgegen der Zugsbewegung.

Für Gleichgewichtszustand der Wagen (mit Lastwasser) in a und b folgt:

$$(P_1+Q)\sin\alpha = P\sin\beta + ph + (P_1+Q)f\cos\alpha + Pf\cos\beta + C + F.$$

$\cos\alpha$ und $\cos\beta$ können $= 1$ gesetzt werden, worauf sich für die Stellungen a, b und c des abwärts fahrenden Wagens die Gleichungen ergeben:

$$(P_1+Q)\sin\alpha - P\sin\beta - ph - (P+P_1+Q)f - C = F, \tag{1}$$

$$(P_1+Q)\sin\beta - P\sin\alpha + ph - (P+P_1+Q)f - C = F', \tag{2}$$

$$(P_1+Q)\sin\gamma - P\sin\gamma - (P+P_1+Q)f - C = F''. \tag{3}$$

Die Gleichung für die Arbeit der zwischen A und B wirksamen Kräfte ist:

$$(P_1+Q)H - PH - (P+P_1+Q)Lf - CL = \Sigma F. \tag{4}$$

Unveränderlich und bekannt sind H, L und f. p und C können hinreichend genau bestimmt werden. Für P und P_1 sind die Größt- bzw. Mindestwerte zu nehmen. Unbekannt sind Q, F, F', F'' und ΣF (= Summe der Arbeit der Bremsen während der

ganzen Fahrt zwischen B und A. Für den theoretischen Längenschnitt soll die Bremsarbeit überall $= 0$ sein. Setzen wir somit F, F', F'' und $\Sigma F = 0$, so ergibt sich aus (4)

$$Q = \frac{(P - P_1)H + (P + P_1)L \cdot f + CL}{H - fL} \tag{5}$$

und aus (3)

$$\sin\gamma = \frac{(P + P_1 + Q)f + C}{P_1 + Q - P} = M. \tag{6}$$

Durch Addition, bzw. Subtraktion von (1) und (2) ergibt sich:

$$\sin\alpha - \sin\beta = \frac{2ph}{P + P_1 + Q} \tag{7}$$

und

$$\sin\alpha + \sin\beta = \frac{2(P + P_1 + Q)f + 2C}{P_1 + Q - P}. \tag{8}$$

Wird nun $\frac{p}{P + P_1 + Q} = N$ gesetzt, so ist $\sin\alpha = Nh + M$ und $\sin\beta = M - Nh$. $h = H$ ist bekannt.

Durch die Annahme, daß Teilstrecken auf AB gleich ihren Horizontalprojektionen, somit auch $L = L_1$ seien, gelangen wir zur Gleichung

$$y = \frac{L}{L_1}(M - NH)\,x + MN\left(\frac{L}{L_1}\right)^2 \cdot x^2, \tag{Ia}$$

aus welcher durch Einsetzen der Werte von M und N die obenstehende Gleichung (I) erhalten wird, die Gleichung einer Parabel von der Länge:

$$L = L_1 + \frac{H^2}{2L_1}.$$

Der durch die Annahme, daß die Projektionen der unter sich gleichen Teilstücke von AB untereinander auch gleich seien, begangene Fehler wird dadurch ausgeglichen, daß y zunächst ermittelt wird. Der Unterschied zwischen H und y wird durch x^2 dividiert und dieser Wert $\frac{H - y}{x^2}$ dem mit x^2 behafteten Faktor des zweiten Gliedes obiger Gleichung (I) algebraisch zugezählt.

Für Bahnen mit Motorenbetrieb ist die Gleichung der für die ganze Fahrt erforderlichen Arbeit, wenn D die vom Motor auf das Seil ausgeübte Zugkraft bezeichnet:

$$DL + (P_1 - P)H - (P + P_1)Lf - CL = \Sigma F.$$

Setzen wir in der Gleichung (Ia) für

$$M = \frac{D - (P + P_1)f - C}{P - P_1} \quad \text{und} \quad N = \frac{p}{P + P_1},$$

so erhalten wir die Hauptgleichung (I). Der größte Wert von D berechnet sich aus der Formel:

$$D = P\sin\beta - P_1\sin\alpha \pm ph + (P + P_1)f + C.$$

Dabei ist ph positiv für den talwärts fahrenden Zug oberhalb Kreuzung, negativ, wenn derselbe unterhalb der Kreuzung ist.

Die Reibungsziffer f, der Widerstand der rollenden Reibung auf einer wagrechten Bahn, ist abhängig vom Zustand der Gleise, der Wagenbauart und der Schmierung.

$$f = 1{,}6 \text{ kg} + 0{,}0003\, V^2,$$

wobei f die Reibung für die Tonne, V die Geschwindigkeit in km/Std. angibt. Für Seilbahnen setzen wir annäherungsweise

$$f = 3 \text{ kg/t}.$$

C, die als Rollenwiderstand bezeichnete Kraft ist, wenn p das Seilgewicht in kg/m bezeichnet, und L seine Länge:

$$C = 0{,}008\, p \cdot L.$$

Widerstand auf Seilbahnen. Der Bewegungswiderstand auf Seilbahnen setzt sich zusammen aus

1. dem Widerstand des Fahrzeuges auf der schiefen Ebene;
2. dem Widerstand des in der Richtung der schiefen Ebene wirkenden Seilgewichtes;
3. dem Widerstand des Seiles selbst.

Der Widerstand des Wagens auf der Steigung ist:

$$W = (a + bv^2)\, Q \pm 1000\, Q \sin \alpha,$$

wobei

W den Zugwiderstand in kg;
$a + bv^2 = f$ den Widerstand auf der Wagrechten für die Tonne des Wagengewichtes;
Q das Wagen- (oder Zug-)gewicht in t;
v die Geschwindigkeit des Zuges in km/Std.;
α den Neigungswinkel der steigenden Strecke mit der Wagrechten bedeutet.

In der Gleichung für W gilt das positive Zeichen vor dem zweiten Gliede der rechten Seite für den aufwärts fahrenden Wagen und das negative für den abwärts fahrenden Wagen.

Es wird vorausgesetzt, daß Doppelbetrieb vorhanden sei. Die Seilanordnung kann zweierlei Art sein, entweder jeder der Wagen (bzw. Züge) nur nach oben mit dem, um eine Umkehrrolle laufenden Seile verbunden, oder es ist ein Seil ohne Ende bzw. ein Ballastseil angebracht, in welchem Falle sich auch am untern Streckenende eine Umkehrrolle befindet. In letzterem Falle verschwindet der unter (2) aufgeführte Widerstand, da sich das Seilgewicht nicht ändert. Ist beim Doppelbetrieb kein durchlaufendes Seil vorhanden, dann ist der Widerstand W_s, welcher durch das Seilgewicht in der Richtung der schiefen Ebene hervorgebracht wird, für einen am Fuße der Steigung befindlichen, bergwärts fahrenden Zug

$$W_s = Flp \sin \alpha,$$

wobei

F der Seilquerschnitt,
l die Seillänge,
p das Seilgewicht in kg/m,
α der Neigungswinkel der Bahn.

W_s wird nach oben immer kleiner und zuletzt gleich Null.

Für den talwärts fahrenden Zug nimmt dieser Widerstand von Null bis W_s zu und hilft als Seitenkraft des Seilgewichts den bergwärts fahrenden Zug empor-

heben. In der Mitte der Steigung, wo beide Züge kreuzen, sind die Einwirkungen des Seilgewichts auf beiden Seiten gleich groß. Die vom Seil herrührende Veränderlichkeit des Widerstandes kann durch eine, von unten nach oben zunehmende Steigung aufgehoben werden.

Der unter (3) erwähnte Seilreibungs- und Seilbiegungswiderstand nebst den Zapfenreibungen wird für den Doppelbetrieb

$$W_b = \beta l p F \cos \alpha$$

und für das Seil ohne Ende

$$W_b = 2\beta l p F \cos \alpha.$$

Hierbei ist β eine Verhältniszahl, welche der Zapfen- und Seilreibung Rechnung trägt, und im Mittel gleich 1 : 20 anzunehmen ist. Ferner ist noch der Seilbiegungswiderstand auf den Umkehrrollen in Rechnung zu ziehen.

Dieser ist[75], wenn

d den Seildurchmesser in m,
D den Seiltrommeldurchmesser in m,
S die größte Seilspannung in kg bedeutet,

$$W_b = 40\frac{d^2}{D}\cdot S$$

$$= (3{,}50 + 0{,}0032\ S)\frac{p}{D} \quad \text{(nach Vautier).}$$

Den Widerstand der Umkehrrolle gibt Vautier zu

$$W_u = 0{,}016\ S.$$

Durch Anlage eines stärkeren Gefälles im obersten Teil der Bahnstrecke kann die Zugkraft des abwärts fahrenden Zuges größer gemacht werden, als zur Ausgleichung des untern notwendig ist. Umgekehrt kann die Steigung am untern Ende verkleinert werden (Gießbach und Lugano) um ein gutes Ingangsetzen der Züge zu bewirken; oder oben vergrößertes, unten verkleinertes Gefälle, je nachdem es die örtlichen Verhältnisse erfordern.

In Abb. 253 ist die oberste Strecke mit stärkerem Gefäll auf eine Länge von

$$l'' = \frac{h'}{\sin \alpha' - \sin \alpha}$$

dargestellt. Die Höhe h' berechnet sich nach der Formel:

$$h' = \frac{P + P_1 + Q + Lp + G}{2g(P_1 + Q)}\cdot V^2.$$

Wird ein Ausgleichseil verwendet, so ist an Stelle von Lp zu setzen $2Lp$.

P = Gewicht des aufwärts fahrenden Wagens,
P_1 = „ „ abwärts „ „
Q = Wassergewicht im abwärts fahrenden Wagen,
L = schiefe Bahnlänge,
p = Seilgewicht für 1 m.

Gefällsbrüche. Die Ausrundung der einspringenden Gefällsbrüche ist besonders wegen des sicheren Verbleibens des Seiles in den Tragrollen erforderlich und

[75]) Fliegner, Bergbahnsysteme usw. S. 72.



wird meist parabolisch ausgeführt. Mit der Seilspannung wächst auch das Bestreben des Seiles sich zu heben. Kommen erhabene Gefällsbrüche vor, so wird das Seil in denselben fester auf die Rollen gedrückt und dadurch die Seilspannung vermehrt.

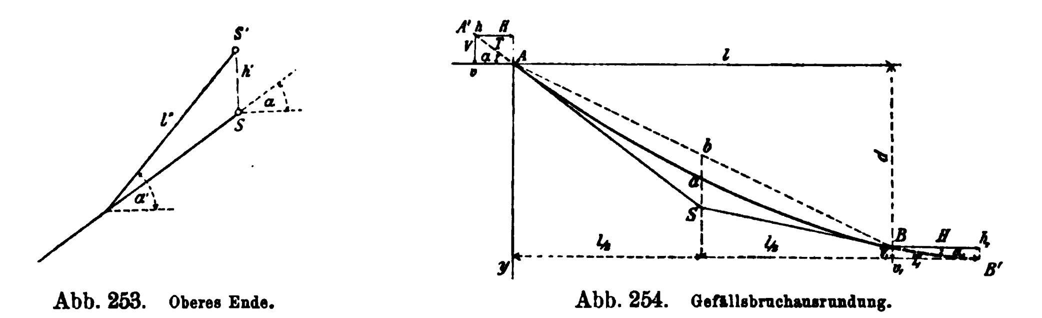


Abb. 253. Oberes Ende. Abb. 254. Gefällsbruchausrundung.

Zur Bestimmung der Ausrundung der Gefällsbrüche muß vor allem die Kurve bekannt sein, welche das Seil bei stärkster Belastung bildet. Die Seilrollen dürfen dann in dieser Kurve oder darüber, aber niemals darunter angeordnet werden.

Es bedeuten SA und SB (Abb. 254) die beiden Gefälle, welche durch eine Übergangskurve von der wagrechten Länge l verbunden werden sollen, d der Höhenunterschied der beiden Punkte A und B, Z und Z_1 den Seilzug in A und B, p das Seilgewicht für das laufende Meter, p_1 das Seilgewicht für 1 m im Grundriß. Wird das Seil zwischen A und B sich selbst überlassen, so bildet es eine Kettenlinie, die infolge ihrer geringen Pfeilhöhe als Parabel angenommen werden kann. Die Parabelgleichung lautet:

$$y = \frac{p}{A} \cdot \frac{x^2}{2} + \frac{B}{A} \cdot x.$$

Indem die Parabel in A und B berührt, erhält die Gleichung, wenn die Pfeilhöhe ab mit f bezeichnet wird, die Form:

$$y = (d + 4f)\frac{x}{l} - 4f\frac{x^2}{l^2}. \tag{1}$$

Weiter ist:

$$\frac{p_1}{2A} = \frac{4f}{l^2} \text{ und } A = \frac{p_1 l^2}{8f} = H. \tag{2}$$

Aus (1) folgt:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{d + 4f}{l}, \qquad d = \frac{l}{2}(\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\alpha_1), \tag{3}$$

daraus

$$\operatorname{tg}\alpha_1 = \frac{d - 4f}{l}, \qquad f = \frac{l}{8}(\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\alpha_1). \tag{4}$$

Aus (2) folgt:

$$f = \frac{p_1 l^2}{8H} = \frac{p_1 l^2}{8 Z_1 \cos\alpha_1};$$

dieser Wert in (4) eingesetzt gibt:

$$l = \frac{Z_1 \cos\alpha_1}{p_1}(\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\alpha_1) = \frac{Z\cos\alpha}{p_1}(\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\alpha_1)$$

und da $p_1 = p \cos \alpha$

$$l = \frac{Z}{p}(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha_1).$$

An Stelle der Parabel kann nun ein Kreisbogen als Übergangskurve gewählt werden, nur muß sein Halbmesser so groß sein, daß sämtliche Kreispunkte oberhalb der Parabelpunkte zu liegen kommen (meistens $R = 2000$ m).

Aus den Gleichungen folgt weiter:

$$\overline{SA} = \frac{l}{2 \cos \alpha}, \quad \overline{SB} = \frac{l}{2 \cos \alpha_1},$$

$$\overline{Sa} = a\,b = f = \frac{p\,l^2}{8H}$$

und die ganze Seillänge zwischen A und B ist:

$$S = l + \frac{d^2}{2l} + \frac{8f^2}{3l}.$$

Ist die Übergangskrümmung schlecht angelegt, so kann ein Abheben und Peitschen des Seiles eintreten, wobei das Seil oder andere Teile der Anlage Schaden leiden.

An der Seilbahn Davos-Schatzalp ist die auf einem Viadukt liegende Übergangskrümmung nach einer kubischen Parabel berechnet und ausgeführt worden.

Die Gleichung lautet:

$$y = ax + bx^2 + cx^3.$$

Bezeichnet α_0 den Winkel der unteren, α_1 den Winkel der oberen Steigung, (x_0, y_0) und (x_1, y_1) die Koordinaten der beiden zu verbindenden Punkte, so ist

$$a = \operatorname{tg} \alpha_0, \qquad b = \frac{x_1 (\operatorname{tg} \alpha_1 + 2 \operatorname{tg} \alpha_0) - 3y_1}{x_1^2}, \qquad c = \frac{x_1 (\operatorname{tg} \alpha_0 + \operatorname{tg} \alpha_1) - 2y_1}{x_1^3},$$

woraus sich die Gleichung der Parabel ergibt zu

$$y = 0{,}36\,x + 0{,}001278\,x^2 - 0{,}00000482\,x^3,$$

$$\text{wenn } \alpha_0 = 36 \text{ v. H.}, \quad \alpha_1 = 47{,}3 \text{ v. H.},$$

$$x_1 = 88{,}37 \text{ m}, \quad y_1 = 38{,}471 \text{ m ist.}$$

Krümmungen. Bei gut gewähltem Verhältnis zwischen Seilstärke und Rollenabstand bieten Krümmungen weder Schwierigkeiten noch erhebliche Mehrkosten. Bei der Gießbachbahn, bzw. bei der Seilbahn Lugano-Bahnhof findet sich zum erstenmal eine Richtungsänderung und zwar in der Ausweiche, bei der Bürgenstockbahn die erste außerhalb derselben. Bei selbsttätigen Ausweichen sind große Krümmungshalbmesser zu wählen, um die Seildauer zu erhöhen und den Bremszangen leichteren Durchgang zu gestatten. Die Beatenbergbahn hat durch Verdoppelung der Rollenzahl in der Krümmung, sowie durch Anwendung patent-geschlossener Seile die Betriebsdauer der letzteren bedeutend verlängert.

Vautier gibt den in der Krümmung vom Zentriwinkel φ entstehenden Gesamtwiderstand zu

$$W_k = 0{,}05 \frac{\varphi}{360} \cdot S$$

an, wobei S = Seilspannung.

Unterbau. Von der richtigen Herstellung des Unterbaues hängt der Bestand der ganzen Seilbahn ab. Erdanschüttungen in größerem Maße sind unstatthaft, da sich beim Setzen des Erdreichs Senkungen im Oberbau zeigen. Je länger die Bahn wird, um so geringer werden die Kosten des gemauerten Unterbaues. Sind größere Dämme notwendig, so werden dieselben zweckmäßig als Brücken in Eisen oder Beton erstellt. Wo es möglich ist, kommen die Schwellen und Schienen auf zwei in den Baugrund eingetreppten, wagrecht geschichteten und mit einer Rollschicht winkelrecht zum Gleise abgedeckten Bermenmauern, deren Zwischenraum mit Schotter ausgefüllt wird, zu liegen. Die Rollschichtfugen werden mit Zementmörtel ausgegossen. In den Bermenmauern eingelassene Bolzen, deren zwei bis drei Paar auf eine Schienenlänge gerechnet werden, verankern einzelne Schwellen. Der Schienenstoß wird meist schwebend angeordnet.

Dem Wandern des Oberbaues wird durch Anlage von Steinsätzen oder Betonklötzen begegnet, welche in 80 bis 100 m Entfernung hergestellt werden. Auf der Seilbahn nach Hohensyburg (Westfalen) ist jeder Schienenstoß mit 0,7 m langen Bolzen in einem Betonblock von 2×2 m Fläche verankert. Stützpunkte werden am zweckmäßigsten am oberen Ende der Dämme und so ausgeführt, daß sie bis auf den gewachsenen Boden reichen. Abb. 255 zeigt einen solchen Verankerungspunkt der ganz gemauerten San Salvatore-Bahn. Für Steigungen bis zu etwa 30 v. H. erhalten die Seilbahnen von seitlichen Bermenmauern eingefaßtes Schotterbett, auf welchem die Holz- oder Eisenschwellen ruhen. Straßen werden über- oder unterführt, die Zahl der Wegkreuzungen überdies durch Anlage von Parallelwegen zu vermindern gesucht.

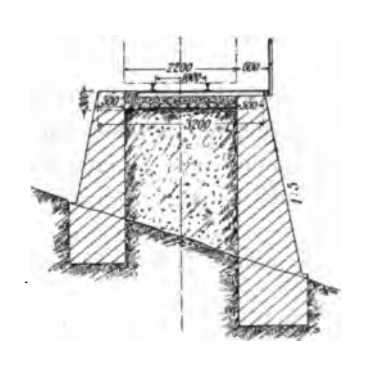


Abb. 255. Verankerungsstelle (San Salvatore).

Als Beispiel einer Straßenunterführung sei die in drei Öffnungen zu 12 m und einer Öffnung zu 9 m nach Hennebique-Bauart erstellte Hadlaubbrücke der Geißbergbahn in Zürich erwähnt. Für eine Steinbrücke war zu wenig Höhe vorhanden, eine Eisenbrücke hätte zu viel Geräusch zur Folge gehabt, deshalb fiel die Wahl auf den armierten Beton. Die Seilbahnen werden fast durchwegs eingefriedigt. Zwischen dem Begrenzungsprofil des Rollmaterials und dem Lichtraumprofil wird beidseitig ein Abstand von 600 mm eingehalten. Tunneln sind so anzulegen, daß das Öffnen der Türen, falls dieselben nicht, wie üblich, als Schiebetüren angeordnet sind, möglich ist. Alle 50 m werden Nischen eingebaut.

Zur Beaufsichtigung der Strecke und um im Notfalle an jeder beliebigen Stelle aussteigen und zu Fuß gehen zu können, wird auf der einen Seite des Bahnkörpers eine Treppe angebracht. Kommt dieselbe auf Erdreich zu liegen, so werden Längs-

hölzer, auf welche die einzelnen Tritte festgenagelt werden, verlegt. Um bei Unterwölbungen nicht zu viel Mauerwerk ausführen zu müssen, finden längere Schwellen Verwendung, auf denen sich eine Brücke zur Streckenbegehung anbringen läßt. Für den Bau sind geeignete Fördereinrichtungen von großer Wichtigkeit und finden für längere Anlagen mit Vorteil vorübergehend angelegte Seilbahnen Verwendung.



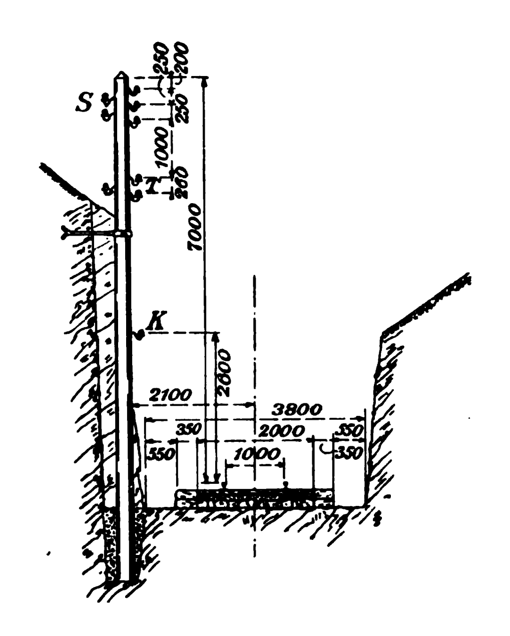


Abb. 256 bis 258 zeigen Bahnquerschnitte und zwar Abb. 256 eine Anschüttung, Abb. 257 Einschnitt mit Schotterunterbau, Abb. 258 Einschnitt mit Mauerunterbau. Letztere beiden nach Ausführungen an der Mendelbahn. In Abb. 257 bedeuten: $S =$ Speiseleitungen, $T =$ Telephon-Signalleitungen, $K =$ Kontaktleitung.

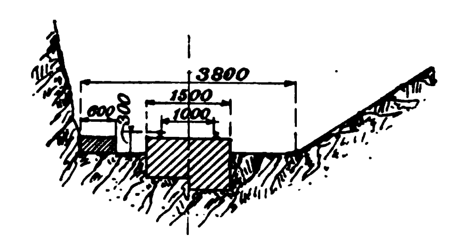


Abb. 256, 257, 258. Bahnquerschnitte.

Unterbaukosten. An der Mendelbahn (Südtirol) wurden nach Strub[76]) für den Unterbau folgende Preise bezahlt:

Für Erdbewegung, Transport und vorbereitende Arbeiten	1,18 Mk./cbm
„ Felsarbeiten	2,97 „
„ Trockenmauerwerk	6,80 „
„ Mauerwerk in Kalk	17,00 „
„ Mauerwerk in Zementmörtel	19,50 „
Verfugen des Unterbaumauerkörpers mit Zementmörtel, einschließlich der Verankerungen, der Rollengruben und Schwellenverputz	1,02 Mk./qm
Für bearbeitetes Bruchsteinmauerwerk für Pfeiler, Gewölbe, Widerlager und Portale	30,06 Mk./cbm
„ Tunnelaushub	13,60 „
„ Beschotterung	3,74 Mk./m
„ Verlegen des Oberbaues (Material auf untere Station geliefert)	2,04 „

[76]) Schweiz. Bauztg. Bd. XLII, 1903, Nr. 20, 21, 23.

Oberbau. Die Anordnung desselben kann in verschiedener Weise ausgeführt werden.

a) Zweigleisig mit vier Schienen (Abb. 259). Es besteht auf der ganzen Strecke eine doppelspurige Bahn, welche einen breiten Bahnkörper usw. bedingt. Die Gleise können parallel sein, oder aber, es werden die beiden innern Schienen so

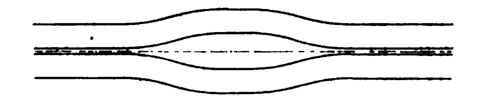


Abb. 259. Zweigleisiger Oberbau mit vier Schienen.

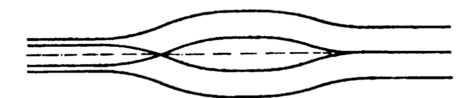


Abb. 260. Zweigleisiger Oberbau mit vier und drei Schienen.

nahe aneinander gerückt, als es die Befestigung eben zuläßt, wobei an der Kreuzungsstelle wieder eine so große Entfernung der Gleisachsen hergestellt werden muß, daß die sich begegnenden Fahrzeuge nebeneinander vorbei können. Die Wagen kreuzen sich in der Mitte der Strecke (Kreuzung), stehen somit immer symmetrisch zu diesem Kreuzungspunkt.

Abb. 260 gibt eine Gleisanordnung, bei welcher im oberen Teile vier Schienen, unterhalb der Ausweiche noch drei verlegt sind.

b) Zweigleisig mit drei Schienen. Die beiden äußeren Schienen (Abb. 261) werden je nur von einem Wagen benutzt, während die mittlere ober- und unterhalb der Ausweichstelle beiden Fahrzeugen dient. In der Ausweiche spaltet sich die mittlere Schiene, um den sich hier kreuzenden Wagen Raum zu geben. Abb. 262 zeigt den Schnitt durch die Gabelung. Platz- und Oberbaumaterialersparnis, sowie daß Seil- und Zahnstange an keiner Stelle überschritten werden müssen, sind Vorteile dieser Schienenanordnung. Das Seil kann höher über den Schwellen gelagert werden als bei eingleisigen Bahnen, und ebenso ist eine bessere Fanghakenführung gesichert.

Abb. 261. Zweigleisiger Oberbau mit drei Schienen.

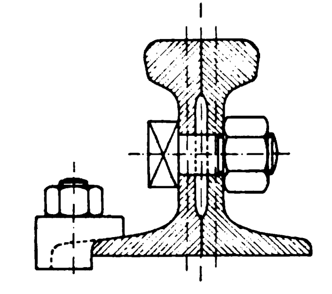


Abb. 262. Gabelung der Mittelschiene.

Für das Stück oberhalb der Ausweiche kommen bisweilen auch drei Schienen zur Anwendung, während im unteren Teile nur zwei liegen. Wie die Anlage-, so sind auch die Unterhaltungskosten etwas geringer als bei zwei getrennten Gleisen. An der Stelle, wo beide Gleise der Ausweiche sich vereinigen, sind zwei Zungen notwendig. Das einfache Gleis findet in der unteren Hälfte Anwendung, weil dort immer nur ein Seiltrum läuft. Bis unterhalb der Kreuzung sind gesonderte Seiltragrollen notwendig, während im unteren Stück je nur eine Rolle von etwa doppelter Breite der Seilentfernung genügt.

c) Eingleisig mit zwei Schienen. Auf der ganzen Betriebstrecke liegt nur ein Gleis. Dieser Fall tritt ein, wenn für ein zweites kein Platz vorhanden ist. Um bei genügendem Gefälle die leeren Wagen wieder zu heben, ohne einer besonderen



Kraftmaschine zu bedürfen, wird mit dem herabzulassenden Wagen ein Gegengewichtswagen verbunden. Dieses Gegengewicht läuft auf einem besonderen Gleis mit kleiner Spurweite zwischen den Seilbahnschienen. Wo es der Platz erlaubt, kann das Schmalspurgleis auch neben dem anderen eingerichtet werden.

d) Eingleisig mit zwei Schienen und Abt's selbsttätiger Ausweiche. Das erste Beispiel einer selbsttätigen Ausweiche ohne Stellvorrichtung finden wir in der von Ingenieur Roman Abt am Gießbach zur Ausführung gebrachten Anordnung. Durch besondere Spurkranzeinrichtung werden die Wagen gezwungen, immer nach derselben Seite auszuweichen[77]). Die Räder des einen Wagens haben die gewöhnlichen, innerhalb der Schienen angeordneten Spurkränze, diejenigen des anderen dagegen außerhalb der Schienen liegende (Abb. 263). Das mit Ausnahme der Weiche zweischienig angelegte Gleis hat einen durchgehenden Strang, welcher den Rädern mit äußeren Spurkränzen zur Führung dient, während die von ihm abzweigende, ebenfalls durchgehende Schiene die Räder mit inneren Spurkränzen beiseite drückt. Der andere Schienenstrang muß den Rädern beider Züge freien Durchgang gestatten, und ist nach Art der gewöhnlichen Kreuzungen gebaut. Da wo das Rad die Zahnstange überschreitet, ist dieselbe durch ein gußeisernes Stück ersetzt, in welchem eine Rille für den Spurkranz eingehobelt ist. Das Seil, an welchem der aufsteigende Wagen hängt, muß oben von dem in die Kreuzung einlaufenden Wagen überschritten werden, und um dies zu ermöglichen, sind dort die Schienen schräg durchschnitten. Das Seil legt sich in die Rille ein. Die Vorteile dieser übrigens nur am Gießbach (jetzt teilweise umgebaut) getroffenen Anordnung sind folgende:

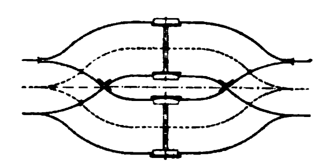


Abb. 263.
Abt's selbsttätige Ausweiche mit äußerem und innerem Spurkranz.

1. Das Anhalten der Züge auf den Endstationen findet immer auf derselben Stelle statt, somit kann durch Anlage geeigneter Bahnsteige das Aus- und Einsteigen einfach und bequem bewerkstelligt werden.
2. Es müssen keine Gleise überschritten werden, weshalb alle dabei vorkommenden Gefahren ausgeschlossen sind.
3. Die Wasserleitung kann fest und einfach ausgeführt werden.
4. Die Endstationen beanspruchen einen kleinen Platz.
5. Der ganze Oberbau (Schwellen, Schienen, Zahnstange usw.) verringern sich

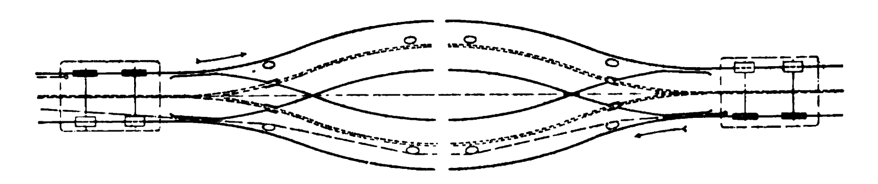


Abb. 264. Abt's selbsttätige Ausweiche mit doppeltem Spurkranz.

auf beinahe die Hälfte der vorgenannten Bauarten, ebenso der Unterbau (Brücken, Pfeiler, Einschnitte, Dämme usw.).

Die in Abb. 264 dargestellte neuere selbsttätige Ausweiche (D. R. P.

77) Vgl. Roman Abt, Seilbahn am Gießbach, S. 16.

Nr. 17662) von **Ingenieur Roman Abt** in Luzern, welche in Lugano-Stadt-Bahnhof zum erstenmal ausgeführt wurde, und seither bei den meisten neuen Seilbahnen angewendet wird, beruht darauf, daß je der äußere Schienenstrang in der Ausweiche durchgehend bleibt und als Führung für die mit doppeltem Spurkranz versehenen Räder dient. Nur die Räder der einen Wagenseite haben diese doppelten Spurkränze, während auf der anderen Seite glatte, breite Laufrollen sitzen. Abb. 265 und 266 veranschaulicht ein solches Rollenpaar, das sogar dem Wagen eine bessere Führung gibt, als die gewöhnlichen Räder. Dabei ist ein beinahe beliebig großer, fester Radstand auch bei kleinen Krümmungshalbmessern möglich. Die breite, spurkranzlose Rolle geht über Seil und Zahnstange stoßfrei weg.

Abb. 265, 266.
Räder für die neue Ausweiche von Abt.

Ausweiche. Die Länge der Ausweiche berechnet sich nach Abb. 267, wobei R und D in

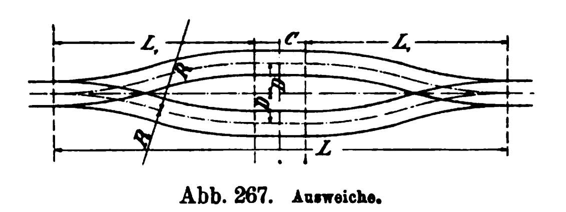


Abb. 267. Ausweiche.

Metern ausgedrückt, C das gerade Stück in der Ausweiche ($C \gtreqless$ Radstand) bedeutet, zu:

$$L_1 = 2\sqrt{D \cdot R - (\tfrac{1}{2}D)^2} \quad \text{bezw.}$$
$$L = 2L_1 + C = 4\sqrt{D \cdot R - (\tfrac{1}{2}D)^2} + C.$$

Für die neueren Bahnen mit Bremszangen werden die Krümmungen behufs leichten Durchgangs nicht zu klein gewählt.

Schwellen. Es sind drei Arten von Querschwellen gebräuchlich, nämlich Holzschwellen für Schotterunterbau (bis etwa zu 33 v. H. Steigung), ⌒ Schwellen und ungleichschenklige Winkeleisen. Die Holzschwellen werden aus Eichen- oder Lärchenholz hergestellt. Die Zoresschwellen sind meist 1,6 m lang, 6 cm hoch, 20,6 cm breit und wiegen 13,6 kg/m. Die Winkelschwellen sind 1,5 m lang und haben die Abmessungen 120/80/9 cm bei 14 kg/m Gewicht. Die Verankerung der Querschwellen mit dem Mauerwerk wird jetzt überall angewendet, ebenso das Vergießen mit Zement. Schwellen besonderer Art weisen die Seilbahnen Territet-Glion und Vesuv auf, indem dort alte Eisenbahnschienen zur Verwendung kamen.

Schienen. Alle älteren Seilbahnen sowie diejenigen, welche sich zum Bremsen der Zahnstange bedienen, haben breitfüßige Schienen von 17 bis 35 kg/m Gewicht. Diese Schienen tragen die Wagen und dienen in der Ausweiche den Rädern als Führung. Seitdem in neuerer Zeit durch die Unternehmung Bucher und Durrer in Kägiswyl (Kt. Unterwalden, Schweiz) die Zangenbremsen, wie sie schon die Seilbahnen von Lyon-Croix-Rousse und San Paulo (Brasilien) in etwas anderer Form besaßen, zur Anwendung gebracht wurden (Stanserhornbahn), war eine besondere

Form des Schienenkopfes notwendig. Dadurch, daß die Zangen nur wenig geöffnet werden, dienen sie dem Wagen als Anker. Abb. 268 zeigt die gewöhnlich verwendete Keilkopfschiene. Die durchschnittliche Höhe beträgt 125 mm bei 87 mm Fußbreite; das Gewicht der 10 m langen Schienen 23,5 kg/m. Die Aktiengesellschaft „Phönix" in Laar b. Ruhrort, welche allein diese Schienen walzt, gibt an:

Zu 10 m Gleis gehören:

	Gewicht:	Preis für 100 kg ab Werk:
2 Schienen zu 10 m	460,00 kg	122,5 Mk.
4 Laschen zu 0,350 m	11,20 „	143 „
8 Laschenbolzen 18 × 58	2,00 „	225 „
8 Klemmplattenbolzen für Laschen	2,20 „	
10 Winkelschwellen zu 22,5 kg	225,00 „	133 „
10 Garnituren und Kleineisen	21,6 „	255 „
10 m Gleis komplett	722 kg und	114 Mk.

Eine normale Ausweiche von 85 m Länge mit Krümmungen von 300 m kostet 2025 Mk.

An der Mendelbahn[78]) kam ein der soliden Stoßverlaschung entsprechendes Profil zur Anwendung mit Laschenkehle zwischen Kopf und Steg. Das Schienenprofil hat 34,1 qcm Fläche, 104,3 cm³ Widerstandsmoment in lotrechter und 18,86 cm³ in wagerechter Richtung bei 125 mm Höhe, 60 mm Kopf- und 100 mm Fußbreite und einem Seitenanzug des Kopfes von 3 : 10. Das Meter Schiene wiegt 26,8 kg. An der Gurtenbahn bei Bern (Schweiz) sind die Schienenenden unter 60° Neigung geschnitten.

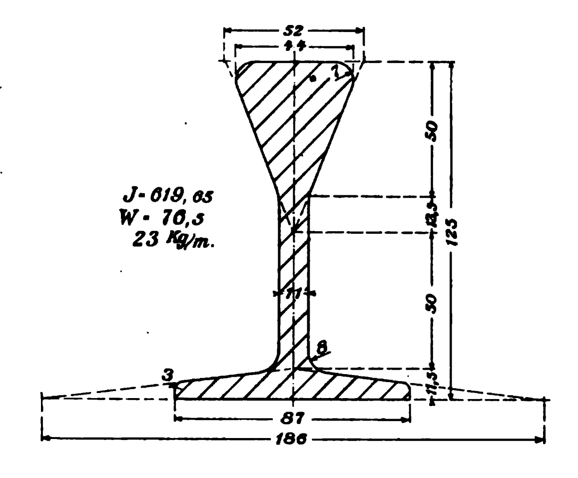


Abb. 268. Keilkopfschiene.

Spurweite. Diese wird fast ausschließlich zu 1 m angenommen. Kommt eine kleinere Spurweite als die von 1 m zur Anwendung, z. B. 750 mm bei der Marzilibahn in Bern, so wird das Ausweichungsgestänge zusammengedrängt und es bleibt neben der Zahnstange nur wenig Platz für die schiefen Seilrollen, sowie für den ungehinderten Durchgang von Seilbüchse, Seilhebel und tiefer liegenden Wagenteilen. Eine größere Spurweite gibt größeren Widerstand gegen Hebung des Oberbaues, ist somit zu empfehlen.

Zahnstangen. Bei den Seilbahnen kamen bis jetzt nur drei Zahnstangenarten zur Verwendung, nämlich die Leiterzahnstange, bestehend aus ⊐förmigen Wangen und trapezförmigen, kalt darin eingenieteten Zähnen; die Abt'sche Zahnstange, bestehend aus zwei Flacheisen, deren Zähne und Stöße gegeneinander versetzt sind, und die Strub'sche Zahnstange, bestehend aus einer hochköpfigen Schiene mit eingefräßten Zähnen. Alle drei Zahnstangen haben Evolventenverzahnung.

Die Zahnstange, Bauart Locher, war für die geplanten Seilbahnen am Pilatus (Schweiz) vorgesehen und ist dort für die jetzige Dampfsteilbahn verwendet.

[78]) Vgl. Schweiz. Bauztg. Bd. XLII, 1903, S. 244.

Die Leiterzahnstange setzt sich aus fertigen, 3 m langen Stücken zusammen, welche unmittelbar auf die Querschwellen geschraubt und in den Stößen außerdem durch Laschen verbunden sind. Die Verlegung erfolgt in der Weise, daß jedes Stück mit seinem unteren Ende fest mit einer Querschwelle verschraubt wird, und sich auf den oberen Stützpunkten verschieben kann. Die Zahnstange wiegt 35 bis 60 kg/m. Für Krümmungen werden entweder gewöhnliche Stücke nach dem gewünschten Halbmesser kalt gebogen, oder es wird, wo es sich um genaue Arbeit handelt, schon bei der Herstellung auf jeden in Betracht kommenden Halbmesser Rücksicht genommen. Die Leiterzahnstange fand 1879 an der Gießbachbahn ihre erste Verwendung für Seilbahnen.

Bei der Abt'schen Bauart erfolgt das Zusammensetzen der Zahnstange aus den einzelnen Teilen an Ort und Stelle. Jedes Flacheisen wird in der Mitte durch außenstehende Stühle festgehalten und kann mit den Enden den Wärmeeinwirkungen folgen. Durch diese Anordnung entsteht zwischen den beiden Flacheisen, auf die ganze Bahnlänge, ein etwa 3 cm weiter Kanal, in welchen die am Wagen befestigten Anker greifen. Sämtliche Teile für gerade und gekrümmte Strecken sind gleich. Je nach der Steigung erhalten die Flacheisen verschiedene Stärke. Das Gewicht der zweiteiligen Stange beträgt 24 bis 35 kg/m. Die erste Anwendung erfolgte 1886 bei der Seilbahn Lugano-Stadt-Bahnhof.

Die Strub'sche Zahnstange wird wie eine gewöhnliche Schiene an Ort und Stelle auf die Schwellen befestigt und verlascht. Da sich die Schienen leicht biegen lassen, ist jeder beliebige Halbmesser zulässig. Das Gewicht beträgt 34 kg/m. Erste Verwendung an der Seilbahn zum Montmartre in Paris (1900).

Als Material für die Leiterzahnstangen kommt jetzt fast ausschließlich Flußeisen, neuestens für die Zähne Stahlformguß zur Verwendung, während früher die Zähne aus Feinkorneisen hergestellt wurden. Das Flußeisen hat 4000 bis 4500 kg/qcm Festigkeit und 30 bis 20 v. H. Dehnung. Die Löcher in den Wangen sind gestanzt. Die Abt'schen Zahnstangen sind aus Flußstahl von 4800 bis 5000 kg/qcm Zugfestigkeit, 20 bis 18 v. H. Dehnung und einer Querschnittseinengung von 35 v. H. hergestellt. Sie ruhen auf Stühlen aus Walz- oder Flußeisen. Schrauben und Laschen sind aus Schweißeisen. Für die Strub'schen Zahnstangen kommt weicher Stahl von 4500 kg/qcm Zugfestigkeit und 20 v. H. Dehnung zur Verwendung.

Die Abnutzung der Zahnstangen ist eine verschwindend geringe, da sie nur den Bremsdruck aufzunehmen haben. Etwa alle acht Tage werden die Zahnstangen geschmiert. Sie sind meistens in die Gleismitte gelegt und das Seil rechts und links davon geleitet, so daß es dieselben nirgends kreuzen muß. An einigen dreischienigen Seilbahnen liegt die Zahnstange nicht in der Gleisachse, damit das Seil näher zu letzterer kommt, wodurch der Seitendruck der Laufräder verkleinert wird (z. B. Lauterbrunnen-Grütschalp).

Eine eigenartige Ausnahme bildet die Seilbahn der Lavrastraße in Lissabon, weil ihre Zahnstange seitlich außerhalb der Schienen angebracht ist. Da diese Bahn in einer Straße liegt, wurde die Zahnstangenoberkante auf Straßenhöhe verlegt, so daß ein unbehindertes Befahren der ganzen Anlage durch Straßenfuhrwerke möglich ist. Ein ⊏ Eisen und zwei L Eisen bilden mit den eingenieteten Zähnen die Zahnstange und die Zahnoberkante liegt mit den Wangenoberkanten in gleicher Höhe (Abb. 269).

An der Mendelbahn wurden die auf Oberbauhöhe liegenden Wegübergänge



(auf 16,5 bis 21 v. H. Steigung) mit Klappbrücken und ähnlichen Einrichtungen versehen, um den Fuhrwerksverkehr ohne Gefährdung des Kabels zu ermöglichen.

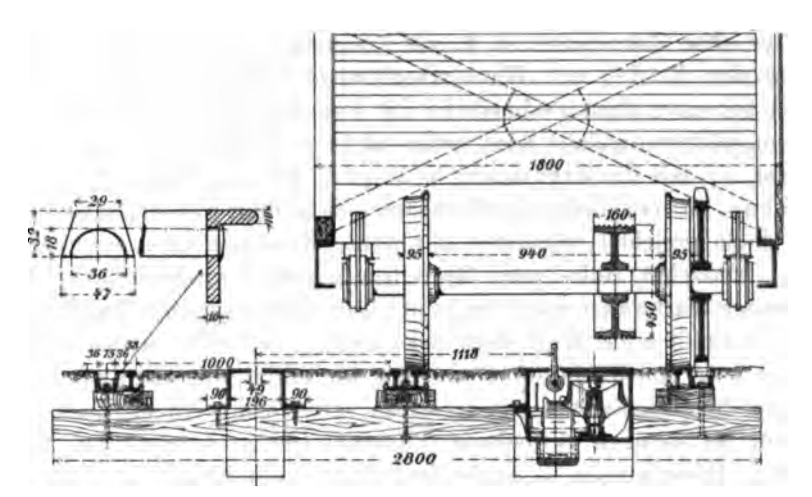


Abb. 269. Oberbau der Seilbahn in der Lavrastraße.

Wagenanker. Um beim Bremsen ein Aufsteigen der Zahnräder zu verhüten, werden die Wagen mit Ankern versehen, gewöhnlich an jedem Ende einer, welche entweder von außen oder von innen an der Zahnstange fassen. Die erstere Art, von der Schweiz. Lokomotiv- und Maschinenfabrik in Winterthur für die Beatenbergbahn ausgeführt, ist in Abb. 270 dargestellt. Einen Anker für Abt'sche Zahnstange gibt Abb. 271 (Lugano-Stadt-Bahnhof).

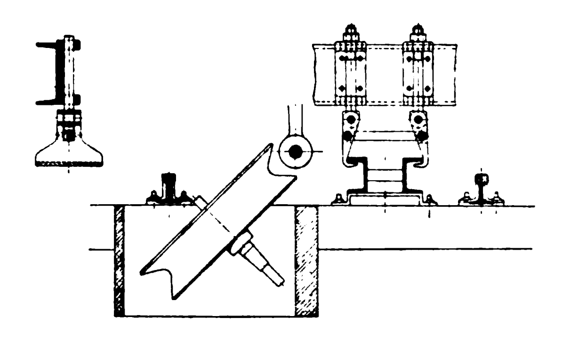


Abb. 270. Anker für Leiterzahnstange.

Für neuere Anlagen findet der Anker seine Führung in der eingewalzten Rille der Flacheisen (Abb. 272). Wenn

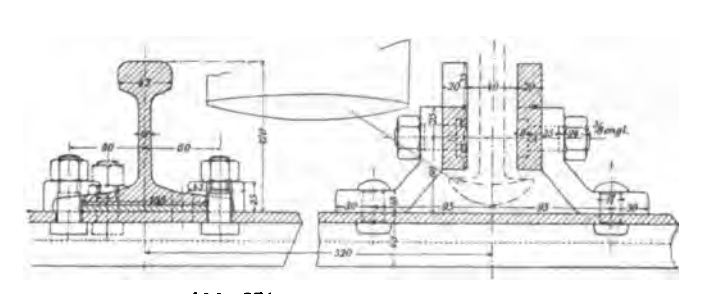


Abb. 271. Anker für Abt's Zahnstange.

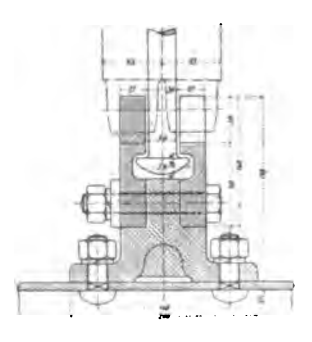


Abb. 272. Ankerführung bei Abt's Zahnstange mit eingewalzter Rille.

keine Ausweichen vorhanden sind, so ist es sehr leicht, einen Anker mit den Zahnstangen in Verbindung zu bringen.

Ein Wegfallen der Zahnstange ermöglicht einfachere Ausweichen und leichtere

Aufsicht, gestattet bessere Unterbringung der Seilrollen und näheres Zusammenrücken der beiden Seilachsen. Überdies fällt das Aufsteigen der Zahnräder fort und es ist keine Beeinträchtigung der Bremswirkung durch fettige Bremsscheiben zu befürchten. Dagegen ist es ohne Zahnstange, d. h. mit Zangenbremse, unmöglich, ohne Stoß zu bremsen oder den Betrieb mit Wasserübergewicht einzurichten. Es ist allerdings denkbar, daß bei einer Wasserballastbahn die Fahrgeschwindigkeit mit einer Bremse an den Reibungsrädern reguliert wird, während bei Seilbruch eine selbsttätige Zangenbremse auslöst, so daß die Zahnstange in Wegfall kommen kann.

Hochbau. So verschieden die Hochbauten ausgeführt werden, so ist das Bestreben doch immer dahin gerichtet, dieselben mit wenig Kostenaufwand zweckentsprechend herzustellen. Einfacher Holz- oder Riegelbau kommt vornehmlich zur Ausführung. Ein geschlossener Warteraum, nötigenfalls mit Wirtschaftsraum und Kassazimmer sowie Einsteighalle (in Städten nur Wartesteig und Einsteighalle) wird in den meisten Fällen genügen. Wo eine Antriebstation vorhanden ist, kann der Warteraum, sowie die Dienstwohnung des Maschinisten mit derselben verbunden werden. Zwischenstationen finden sich nur bei wenigen Seilbahnen (Lausanne-Ouchy, Ecluse-Plan, Mont Pélerin, Geißberg u. a.). Diese müssen so angeordnet sein, daß jeweilen beide Wagen gleichzeitig an Stationen eintreffen. Die Ein-, bzw. Aussteighalle dient meist als Wagenschuppen und soll mit einer Putzgrube zum Nachsehen der Bremsen und des Wagenuntergestelles versehen sein. Ein Rolladenverschluß gestattet den Wagen und das Gebäude vollkommen abzusperren. Treppen von 1,2 bis 2,5 m Breite mit Plattformen, welche den einzelnen Wagenabteilen entsprechen, ermöglichen ein bequemes Ein- und Aussteigen. Mit Flacheisen besetzte Holzstufen eignen sich für den Warentransport besser als Stein- oder Betonstufen.

Die Bahnhofgebäude stehen meist in telephonischer Verbindung miteinander, bei elektrischem Betrieb auch mit dem Elektrizitätswerk. Auf der freien Strecke sind dann vier Leitungsdrähte gespannt, nämlich: zwei für das Stationstelephon, einer für das Läutewerk ins Maschinenhaus, und eine Kontaktleitung für die offene Strecke. Sowohl die untere als auch die obere Station sind mit Puffern versehen, welche mit den gewöhnlich in der Mitte angeordneten Wagenpuffern übereinstimmen. Die Stationspuffer erhalten 80 bis 400 mm Rücklauf. Bei Betrieb mit Wasserübergewicht erhält die untere Station einen Auflauf für das Entleerungsventil, sowie einen Ablaßkanal.

Ist eine stehende Betriebsmaschine vorhanden, so kommt wohl auch eine selbsttätige Ausschaltvorrichtung zur Anwendung, welche auf der Antriebstation eingerichtet, mittels Hebel und Stangen die Maschine abstellt, sobald der Wagen den höchsten, bzw. tiefsten zulässigen Punkt überschritten hat. Elektrische Läutewerke, mit Berührungsschiene am Stationseingang, zeigen dem Maschinisten die Ankunft der Wagen an.

§ 24. Vergnügungs-(Touristen-)Bahnen. Fortsetzung. — Seil. Die Sicherheit und Betriebsfähigkeit der ganzen Anlage hängt zum größten Teil vom Drahtseil ab, weshalb dasselbe aus bestem Material von den bewährtesten Fabriken bezogen werden soll. Bei verhältnismäßig hohem Sicherheitsgrad muß es sorgfältig geprüft sein, häufig nachgesehen und rechtzeitig ausgewechselt werden. Ein fallender Stein, böswillige Beschädigung, starke Verrostung oder Verschiebung der inneren Drähte, Herstellungsfehler usw. sind dem Drahtseil gefährlich. Bei allfälligem Bruch können die heftig zurückschnellenden Enden Personen neben der Bahn gefährden. Gebrochene Drähte, welche im Winter häufiger vorkommen als im Sommer, tragen erst nach

viermaliger Litzenschlaglänge wieder mit. An der am stärksten beanspruchten Stelle soll das Seil noch wenigstens achtfache Sicherheit bieten.

Die Seilbahnen haben meist nur ein einfaches Zugseil, doch kommen auch solche mit zwei Seilen vor, wobei das zweite entweder als Sicherungsseil bei Seilbruch, oder als Ausgleichseil (Ballastseil) angeordnet ist. Zu letzterem Zwecke kann ein ausgedientes Zugseil verwendet werden. Hanfseile kommen nicht mehr vor. Der zuerst verwendete Eisendraht (Seile von sechs Litzen zu sechs Drähten) hat dem Stahldraht bald Platz gemacht. Auch hier wurde weicher, sowie gehärteter Stahldraht, Gußstahl- und Tiegelgußstahldraht probiert. Die beiden letzten Sorten behaupten das Feld, da hartes Material größere Zähigkeit haben kann als weiches. Das Zugseil wird in verschiedenen Formen zur Anwendung gebracht: als Spiralseil mit Kreuzschlag (Litzen und Drähte in entgegengesetzter Richtung gewunden), mit Albertschlag (Litzen und Drähte in gleicher Richtung gewunden), und als verschlossenes Seil, hergestellt durch passende Anordnung verschiedener Formdrähte um einen Kerndraht. Die Bauart der Seile nach dem Albertschlag wurde 1879 dem Mr. John Lang durch Patent geschützt, weshalb sie auch Seile nach Lang's Schlag genannt werden.

Mit dem Seildurchmesser wächst der Spannungsunterschied der gegenüberliegenden Drähte bei der Umleitung über eine Rolle, deshalb wird durch Weglassen der Hanfseele eine Verringerung des Seildurchmessers angestrebt. Außerdem lieferte die Hanfseele in bezug auf die für die Beurteilung des Zustandes der inneren Drähte wichtige Messung der Seilverlängerung unsichere Ergebnisse. Durch Zurückhalten der Feuchtigkeit begünstigt die Hanfseele die Rostbildung an den inneren Drähten.

Die Verwendung eines schwereren Seiles, als sich rechnungsmäßig ergibt, kann bisweilen den Bau einer Seilbahn ermöglichen. Bei den einfachsten Seilen kommen 72, 84 und 108 Drähte zur Verwendung. Die Zunahme der Drahtzahl der Litzen nach außen sollte genau genommen nicht 6, sondern $6{,}28 = 2\pi$ betragen.

Seile im Kreuzschlag erschweren die Schlingenbildung, nützen sich aber ungünstig ab, wie untenstehende Abb. 273 und 274 zeigen, da die der Reibung aus-

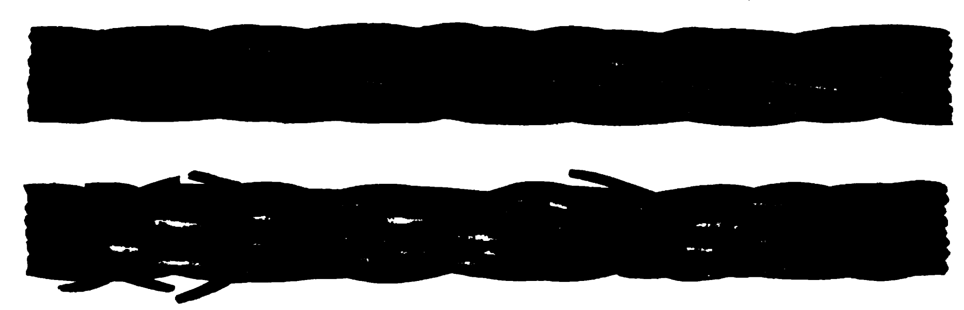


Abb. 273, 274. Seil mit Kreuzschlag (neu und abgenutzt).

gesetzten Flächen (sog. Kronen) kurz sind und nach einiger Abflachung, besonders auf kleinen Seilscheiben, brechen. Das Drahtmaterial wird nicht voll ausgenutzt.

Das Albert'sche Geflecht, nach Bergrat Albert in Klausthal benannt, welcher schon 1834 als Erster Drahtseile herstellen ließ, bietet, weil Drähte und Litzen nach derselben Richtung geschlagen sind, eine größere langgestreckte Arbeitsfläche; Drahtbrüche kommen seltener vor, und das abgenutzte Seil gleicht mehr einer

runden Eisenstange, da sich nur sein Durchmesser verkleinert (Abb. 275 und 276)[79]). Abb. 277 und 278 gibt das in Albertschlag ausgeführte Seil der Salvatore-Drahtseilbahn. Ein Seil in Albertschlag kann nicht mit einem solchen im Kreuzschlag gespleißt werden, ist überhaupt schwieriger zu spleißen als ein Seil letzterer Art.

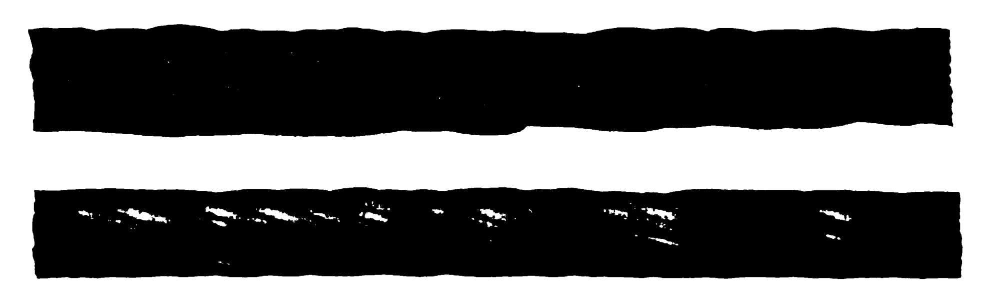


Abb. 275, 276. Seil mit Albertschlag (neu und abgenutzt).

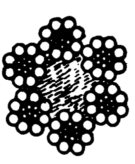



Abb. 277, 278. Seil mit Albertschlag (Salvatorebahn).

Bei verschlossenen Seilen ist jede Schicht in entgegengesetzter Richtung gewickelt wie die Nachbarschichten, so daß kein Aufdrehen zu befürchten ist. Dadurch, daß die Deckdrähte mit etwas kleinerem Flechtwinkel aufgebracht werden, brechen sie eher als die Innendrähte. Für Seilbahnen kommen nur feindrähtige Seile verschlossener Bauart in Betracht. Gegenüber anderen Konstruktionen haben dieselben folgende Vorteile: geringerer Durchmesser bei gleicher Bruchfestigkeit; um die ausfallende Hanfseele ermäßigtes Gewicht; gleichmäßiger Verschleiß der Deckdrähte; durch die glatte Oberfläche bedingter ruhiger Gang; langsamere Abnützung und geringerer Kraftverbrauch als bei anderen Seilen; Verhütung des Rostens von innen nach außen; fast gar kein Längen des Seiles; gleichmäßige Anspannung aller Drähte; Festhalten der Drahtenden im Falle eines Drahtbruches infolge der Form der Nachbardrähte. Bei abgenutzten Deckdrähten kann der Seilkern mit einer neuen Schicht von Deckdrähten umflochten oder als Seil für einen anderen Zweck verwendet werden. Geschlossene Seile haben mindestens eine ebenso große Biegsamkeit wie gewöhnliche Seile von gleichem Metallquerschnitt. Abb. 279 ist ein verschlossenes Seil von W. C. Brown (Bankhall) Liverpool.




Abb. 279. Verschlossenes Seil nach W. C. Brown.

Abb. 280 zeigt ein Seil „patentverschlossener“ Anordnung (von Felten & Guilleaume) von 32 mm Durchmesser. Den Kern bildet ein sechskantiger Draht,

[79]) Abbildung von Thos. & Wme. Smith, Hamburg.

umgeben von 18 Runddrähten, welche ihrerseits von vier Lagen in abwechselndem Drehsinn aufgebrachten Formdrähten umgeben sind. Im ganzen sind 126 Drähte vorhanden. Ein 19 mm-Seil der gleichen Unternehmung mit 69 Drähten gibt Abb. 281 wieder.





Abb. 280. Verschlossenes Seil. Abb 281. V[illegible]

In neuerer Zeit kommen oft flachlitzige Seile (Abb. 282 bis 284) zur Verwendung, weil dieselben die Abnutzung auf viele Drähte verteilen und so die Lebensdauer erhöhen. Ein Kerndraht von flacher Form wird mit Runddrähten zu einer Litze umsponnen. Die Seile können leicht gespleißt werden, sei es mit sich selbst oder mit anderen Seilen.

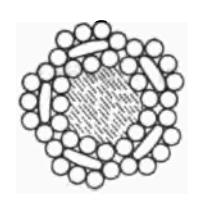
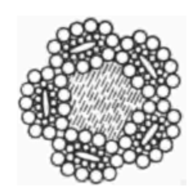
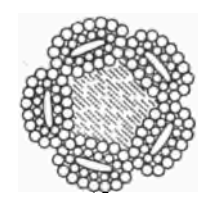




Abb. 282, 283, 284 Flachlitzige Seile.

Als Förderseile, besonders als Zugseile für Bergbahnen offeriert die Firma Felten & Guilleaume patentierte dreikantlitzige Seile (Abb. 285), die gegenüber Seilen gewöhnlicher Art folgende Vorteile haben: Geringerer Durchmesser bei gleicher Bruchfestigkeit, geringeres Gewicht, gleichmäßiger Verschleiß der Deckdrähte und gleichmäßiger innerer Verschleiß des Seiles.

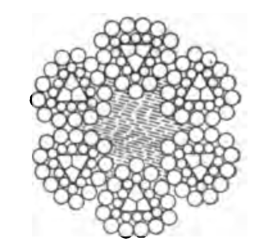


Abb. 285. Dreikantlitziges Seil.

Bei den schweizerischen Seilbahnen sind Seile in Kreuzschlag von 24 bis 44 mm Durchmesser, in Albert-(Lang-)Schlag von 20 bis 44 mm, flachlitzige von 26 bis 28 mm und verschlossene von 18 bis 32 mm Durchmesser in Anwendung.

Die zur Verwendung kommenden Drähte haben 1 bis 3 mm Durchmesser und es wächst ihre Zahl von 42 bis 133 bei einem Seil. Je größer die Drahtzahl, desto kleiner kann deren Durchmesser sein, wodurch das Seil an Biegsamkeit gewinnt. Soll eine Hanfseele zur Verwendung kommen, so wird dieselbe zuerst in säure- und

wasserfreiem Leinöl gekocht, dann gründlich geteert. Das Seilgewicht wechselt von 1,5 bis 6,1 kg/m. Die Bruchfestigkeit beträgt 70 bis 180 kg/qmm, doch verwenden z. B. Thos. & Wme. Smith in Hamburg englische Tiegelgußstahlmarken, die bis zu 240 kg/qmm gehen. Bei den schweizerischen Seilbahnen beträgt der Sicherheitsgrad der Seile 7,95 bis 16,6. Ihre Lebensdauer ist von sehr vielen Umständen abhängig und geht von $^{11}/_{12}$ bis zu $12^{1}/_{2}$ Jahren. Das schweizerische Eisenbahndepartement hat (Februar 1885) bestimmt, daß die Größtspannung des Seiles einschließlich des Spannungsverlustes auf den Rollen den vierten Teil der Bruchlast nicht übersteigen darf, wobei auf die Querschnittsänderung infolge des Gebrauches Rücksicht zu nehmen ist.

Ausgleichseil (Ballastseil). Dasselbe hat gewöhnlich gleiche Stärke und gleiches Gewicht wie das Zugseil (meist ist es auch ein altes Zugseil) und soll die von letzterem herrührende, veränderliche Teilkraft aufheben. Da es nur die Seitenkraft des eigenen Gewichts in der Bahnrichtung, die Reibungswiderstände und die Summe der Spannungsverluste bei der Bewegung über die Rollen aufzunehmen hat, so beträgt die Größtbelastung viel weniger als beim Zugseil, weshalb der Sicherheitsgrad ein viel größerer ist. In Abb. 286 ist die Verbindung des Zugseiles

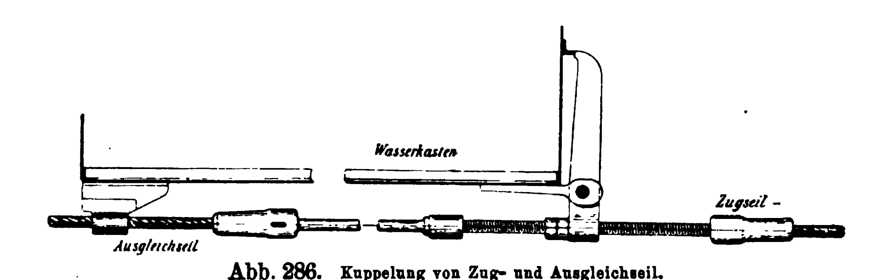


Abb. 286. Kuppelung von Zug- und Ausgleichseil.

mit dem Ausgleichseil dargestellt, wie sie an der St. Beatenbergbahn (Berneroberland) ausgeführt ist. Eine Spindel mit Mutter und Gegenmutter gestattet kleine Stellungsänderungen des Wagens, welche durch Strecken des Zugseiles bedingt werden, vorzunehmen. An der Lauterbrunnen-Grütschbahn war bis zum Umbau (1902) an Stelle eines Ausgleichseiles die wenig vorteilhafte Betriebsart mit veränderlicher Belastung durch allmähliches, dem Seilgewicht entsprechendes Entleeren des Wasserkastens üblich.

Seilunterhaltung. Das Seil, von dessen gutem Zustand die ganze Anlage abhängig ist, soll täglich auf Drahtbrüche untersucht werden. Ein Überzug von Teer oder Fett wird, sobald sich blanke Stellen zeigen, beim Durchgang durch die Antriebstation aufgebracht.

Die St. Egydyer Eisen- und Stahlindustrie-Gesellschaft in Wien empfiehlt für ihre vorzüglichen Drahtseile eine Schmiere, die aus einem Gemisch von säurefreiem Fichtenteer (sog. schwedischem Holzteer) und tierischem Talg im Verhältnis von 10 : 1 besteht. Nadelholzteere eignen sich für die Herstellung von Schmieren am besten, und es empfiehlt sich, vor Mischung mit dem Talg, den Teer zwecks Wasseraustreibung zu erwärmen; außerdem wird hierdurch eine bessere Verbindung mit dem Talg erzielt. Ein verhältnismäßig dünner Überzug des Seiles, der je nach den Witterungsverhältnissen etwa alle drei Wochen zu erneuern ist, schützt dasselbe vollständig. Zum Auftragen der Schmiere wird ein Pinsel benutzt oder das Seil ein- bis zweimal

durch einen Schmierbehälter geleitet. Die Schmiere soll nicht zu dick aufgetragen (etwa 0,1 des Seilgewichts) sein, damit kein Gleiten auf den Treibrollen eintritt, noch sich Staub usw. in Menge ansetzen kann. Die Abnutzung der inneren Drähte beschränkt sich auf Polieren und event. Verrostung. Eine Aufsicht über die Seile durch die Eisenbahnbehörde findet in der Schweiz, laut Verordnung (des Eisenbahn-Departements) über Seilproben und Unterhaltung, jährlich zweimal statt.

Um dem Seil bei Wärmeänderungen freie Ausdehnung zu gestatten, darf der unten stehende Wagen nie gebremst sein, sondern soll frei im Seil hängen. Bei langen Seilbahnen machen sich Witterungs- und Wärmeschwankungen deutlich bemerkbar. Betrage[80]) die Ausdehnungsverhältniszahl für harten Stahl

$$\alpha = 0{,}00001225$$

und sei l die Gesamtlänge des Seiles, t die Wärmezunahme in Graden, dann ergibt sich die Seillängung nach der Formel

$$L = (1 + \alpha t)\, l - l.$$

Bei dem Seile der Mendelbahn, das eine Länge von 2400 m hat, ergab sich dieses Maß bei $t = 20^\circ$ zu

$$L = (1 + 0{,}00001225 \cdot 20)\, 2400 - 2400 = 0{,}58 \text{ m.}$$

Dieses Maß bezieht sich aber nur auf die Seil-, nicht auch auf die Drahtlängung, es fällt in Wirklichkeit also noch größer aus.

Ersatzseile müssen unter Dach aufbewahrt werden und sind gegen Feuchtigkeit, Kälte und Materialbeschädigung durch Stoß, Schlag usw. zu schützen.

Seilüberwinterung. Jordan berichtet von der Mendelbahn[81]): Das gründlich gereinigte Drahtseil wurde mit Seilschmiere reichlich eingefettet. Nun wurden die Wagen in den Kopfstationen vorgezogen, gebremst und zuverlässig gesichert. Das Seil selbst wurde aus den Rollen ausgelegt und zwar so, daß es an der Innenseite einer Fahrschiene zum Anliegen kam. Hierdurch war es bereits auf drei Seiten gegen mechanische Einwirkungen geschützt. An der vierten Seite wurde das Seil in der ganzen Länge mit einer starken Schicht Faschinen abgedeckt, die in kleinen Abständen mit Bindedraht an der Fahrschiene gegen Verschiebung gesichert waren.

Hierdurch war das Seil, das außerdem noch mit einer Lage Vaselin versehen wurde, auf allen Seiten gegen Beschädigungen, wie Steinstürze, Lawinengänge usw. gesichert und dennoch luftig gelagert, und konnte jederzeit an beliebigen Punkten stichprobenweise besichtigt und überwacht werden.

Um nun dem Seil aber auch eine gewisse Bewegungsfreiheit beim Zusammenziehen bei starker Kälte zu wahren, wurde es am unteren Wagen etwa 2,5 m aus dem Seilhebel ausgezogen und das Stück auf geschmierte Balken gelegt; ferner wurde an zwei Punkten der etwa 2,4 km langen Strecke, und zwar bei km 0,9 und km 1,8 das Seil in eine ungefähr 4 m lange Schlinge gelegt, die an der unteren Seite mit je einer Binde gefangen wurde, die mit einem etwa 6 m langen Drahtseil an der gegenüberliegenden Schiene befestigt war. Jede dieser Schlingen lag in einem der verschalten, dem Personal jedoch zugänglichen Tunnel, wodurch die Schlingen gegen jeden, auch böswilligen Einfluß geschützt und frei gelagert waren. So war das Seil in mehrere Teile getrennt, deren Längenänderung durch die Schlingen bzw. das untere freie Ende ausgeglichen wurde.

---

80) K. Jordan, Über Drahtseile, Elektr. Bahnen und Betriebe, 1904, S. 405.

81) K. Jordan, Über Drahtseilbahnen. Elektr. Bahnen und Betriebe, 1904, S. 406.



Seilgewicht und Seildurchmesser. Das Gewicht eines Drahtseiles kann aus dem Gewicht seiner Drähte berechnet werden, wenn dasselbe mit $^9/_8 = 1{,}125$ multipliziert wird. Sind n Drähte von p kg/m Gewicht im Seil vorhanden, so beträgt das Gewicht von 1 m Seil

$$P = 1{,}125 \cdot p \cdot n.$$

Ist der Seilquerschnitt q in qmm bekannt, so ergibt sich das Seilgewicht in kg/m zu $P = 0{,}0085\, q$. Das Bergamt zu Dortmund gibt an

$$P = 0{,}0075\, n\, \delta^2,$$

wobei δ = Drahtdurchmesser in mm. Zur raschen Ermittelung des Drahtseildurchmessers gibt Vautier die Formel:

$$D = \sqrt{350 \cdot p}.$$

Hrabák[82]) gibt an

$$D = 1{,}5\, \delta \sqrt{n}$$

für gewöhnliche, zweimal geflochtene Seile; Felten & Guilleaume dagegen

$$D = \delta \sqrt{3{,}3 \cdot n}.$$

Die Trenton Iron Co. gibt für den Seilquerschnitt:

$$Q = n \cdot \delta^2 \frac{\pi}{4}$$

und die Drahtzahl berechnet sich aus

$$n = \frac{77\, D^2}{100\, \delta^2}.$$

Für das auf einen Haspel aufgewickelte Seil ergibt sich die Länge L, wenn C den äußeren, c den inneren Durchmesser und T die Trommellänge bezeichnet, zu

$$L = \frac{T\,(C^2 - c^2)}{18{,}336 \cdot D^2}.$$

Seilwiderstand usw. Die Seilspannung in irgend einem Punkte ist gegeben durch die Formel:

$$Z = P \cdot \sin \alpha + p \cdot h + P \cdot f + \gamma,$$

wobei

P das Zuggewicht,
α den Winkel des Gleises mit der Wagrechten,
h die Vertikalprojektion des Seilstückes,
f den Rollwiderstand des Zuges,
γ den Seilwiderstand

bedeutet.

Um die größte Seilspannung zu erhalten, muß noch der Wert des Anfahrwiderstandes

$$a = \frac{P + p \cdot L + G}{l} + \frac{v^2}{2g}$$

beigefügt werden.

---

82) Hrabák, Die Drahtseile. Verlag v. Jul. Springer, Berlin, 1902.

L ist die schief gemessene Bahnlänge,
G das Gewicht der in Betracht kommenden Seilrollen,
l die Strecke, welche zurückgelegt werden muß, bis die Geschwindigkeit v erreicht ist,
γ der Reibungswiderstand des Seiles auf den Rollen. Derselbe kann zu $^1/_{100}$ bis $^1/_{200}$ des Seilgewichtes angenommen werden (nach Vautier für die Gerade 0,008. Für Lausanne-Ouchy ergab sich f zu 0,055 bis 0,07).

Für Wasserlastbahnen ist die Grenze des Gleichgewichts

$$Q + P = Pe^{\mu\alpha},$$

woraus

$$Q = Pe^{\mu\alpha} - P.$$

Q = Nutzlast,
P = tote Last,
α = seilumspannter Bogenwinkel,
e = Basis der natürlichen Logarithmen.

Reibung zwischen Stahldrahtseil und Gußeisen $\mu = 0{,}129$
Stahldrahtseil und Eichenholz . . . . $\mu = 0{,}158$
Stahldrahtseil und Leder . . . . $\mu = 0{,}163$

Für Motorenbahnen berechnet sich die Seilspannung aus

$$T = t \cdot e^{f\alpha n}.$$

Dabei bezeichnet n die Zahl der halben Umschlingungen der Antriebscheibe

$$f = 0{,}1\,, \quad \alpha = 180^\circ = \pi, \quad e^{f\alpha} = 1{,}37$$
$$f = 0{,}18, \quad \alpha = 180^\circ = \pi, \quad e^{f\alpha} = 3{,}1.$$

Verordnung betreffend die Kabel der Seilbahnen.

Der schweizerische Bundesrat,

in Anwendung des Art. 31 des Bundesgesetzes vom 23. Dezember 1872 über den Bau und Betrieb der Eisenbahnen auf dem Gebiete der schweizerischen Eidgenossenschaft; auf den Antrag des Post- und Eisenbahndepartements, beschließt:

Art. 1.

Über die Kabel der Seilbahnen ist, deren Beschaffung vorgängig, jeweilen eine Vorlage an das Eisenbahndepartement zu machen.

Dieselbe soll enthalten:

Die Dimensionen des Kabels und dessen Zusammensetzung, sowie Angaben über die Festigkeitsverhältnisse des in Aussicht genommenen Materials; ferner die Berechnung über die größte normale Beanspruchung des Kabels und die vorgesehene Bruchfestigkeit desselben; sodann Angaben über die verschiedenen Rollendurchmesser und die zugehörigen Umspannungswinkel.

Die Vorlage hat seitens der Bahnverwaltung so rechtzeitig vor der Bestellung des Kabels zu erfolgen, daß allfälligen Einwendungen und Bemerkungen des Eisenbahndepartements noch Rechnung getragen werden kann.

Art. 2.

Bei Bestimmung der größten normalen Beanspruchung sind die für das Kabel ungünstigste Stellung und Belastung des Zuges, das Seilgewicht, die Seilsteifigkeit,

die Reibungswiderstände der Wagen, sowie der Trag-, Ablenkungs- und Umleitungsrollen zu berücksichtigen.

Art. 3.

Die Anforderungen an die Kabel werden wie folgt festgestellt:

a) Das Kabel soll als Ganzes geschmeidig und leicht zu biegen sein. Dementsprechend ist für dasselbe eine günstige Konstruktion zu wählen.

b) Die Bruchfestigkeit soll mindestens achtmal so groß sein, als die bei normalem Betrieb vorkommende größte Belastung.

c) Die Zugfestigkeit des Drahtmaterials darf 15 t pro cm² nicht übersteigen und soll diesen Wert nur ausnahmsweise erreichen. Bei ungünstigen Trasseverhältnissen der Bahn ist als Maximum für die Zugfestigkeit 12 t pro cm² anzunehmen.

d) Die Dehnung soll nicht unter 3 v. H. betragen.

e) Die Torsionsarbeit soll mindestens 5,50 cm.t pro cm³ erreichen.

f) Die Anzahl der Umbiegungen um 180° und einen Dorn von fünffachem Durchmesser soll bis zum Bruch mindestens 10 betragen.

Das Eisenbahndepartement ist ermächtigt, bezüglich dieser Anforderungen in einzelnen Fällen besondere Vorschriften zu erlassen.

Art. 4.

Der Nachweis über die erforderlichen Eigenschaften eines Kabels ist durch eingehende Untersuchungen in der eidgenössischen Anstalt zur Prüfung von Baumaterialien in Zürich zu leisten. Zu diesem Zwecke ist der Anstalt ein den Vorschriften des Eisenbahndepartements entsprechendes Kabelstück abzuliefern.

Das Protokoll über die Untersuchung hat die Bahnverwaltung dem Eisenbahndepartement so rechtzeitig einzureichen, daß vor der beabsichtigten Inbetriebsetzung des Kabels über die Zulässigkeit der Verwendung desselben ein Entscheid getroffen werden kann.

Die Untersuchung hat sich zu erstrecken: auf Zerreißproben mit dem ganzen Kabel, eventuell auch Schlagproben; auf Zerreißproben, Torsionsproben und Umschlag-Biegeproben mit allen Drähten je einer Litze.

Bei Kabeln neuerer Konstruktion (ohne Litzen) sind die Einzeln-Drahtproben wenigstens mit $^1/_6$ der Drahtzahl des Kabelquerschnittes zu machen und auf die Drähte von verschiedenem Querschnitt entsprechend deren Anzahl im Kabel proportional zu verteilen.

Im übrigen kann das Eisenbahndepartement das Programm für die Proben nach Bedürfnis abändern.

Art. 5.

Die Kabelbefestigung ist nach der Anleitung des Eisenbahndepartements vorzunehmen. Dieselbe muß überall, wo eine Ausnahme vom Departement nicht gestattet wird, bei voller Tageshelle erfolgen.

Dem Eisenbahndepartement ist vom Zeitpunkt der Kabelbefestigung (Vergießung) rechtzeitig Anzeige zu machen, damit dessen Organe dem Vorgang eventuell beiwohnen können.

Art. 6.

Die Überwachung des Kabels während des Betriebes hat in folgender Weise zu geschehen:



a) Tägliche Besichtigung des Kabels und dessen Befestigung durch dazu geeignete Beamte der Bahn.
b) Genaue Untersuchung desselben von der Inbetriebsetzung an zunächst alle Monate durch einen hierfür speziell geeigneten Beamten der Bahn.

Dabei ist u. a. auch die Zahl der Drahtbrüche und die Lage derselben gewissenhaft festzustellen.

Ferner ist die Dehnung (Verlängerung) des Kabels nach einer vom Eisenbahndepartement aufgestellten Anleitung genau zu ermitteln.

Sobald Drahtbrüche auftreten, oder andere Unregelmäßigkeiten am Kabel beobachtet werden, sind die Revisionen in kürzeren Zeiträumen vorzunehmen.

Bei Seilbahnen, deren Betrieb während des Winters eingestellt wird, hat eine genaue Revision des Kabels nach Schluß der Saison und eine solche vor der Betriebseröffnung im Frühjahr zu erfolgen, und zwar letztere so rechtzeitig, daß den vom Eisenbahndepartement angeordneten Maßnahmen Rechnung getragen werden kann.

Die Resultate der periodischen Untersuchungen des Kabels, d. h. die Angaben über den allgemeinen Zustand desselben, die Abnutzung, die Zahl und Lage der Drahtbrüche, allfällige Beschädigungen usw. sind jeweilen sofort in der vorgeschriebenen Form dem technischen Eisenbahninspektorate mitzuteilen.

Nach besonderen Vorfällen oder bei Wahrnehmung abnormaler Erscheinungen hat die Bahnverwaltung jeweilen sofortige Untersuchung und Rapportierung an das technische Eisenbahninspektorat anzuordnen.

Über jedes Kabel ist sodann ein Buch zu führen, für dessen Einrichtung das Eisenbahndepartement ein Schema aufstellen wird.

Art. 7.

Je nach den Resultaten der periodischen Untersuchungen und unter Berücksichtigung des Dienstalters des Kabels ist der Zeitpunkt der Auswechslung — wenn nötig, durch das Eisenbahndepartement — zu bestimmen.

Über das ausgewechselte Kabel sind Untersuchungen analog denjenigen für neue Kabel in der eidgenössischen Anstalt für Prüfung von Baumaterialien anzustellen.

Zu diesem Zwecke ist sofort nach der Auswechslung ein Stück in vorgeschriebener Länge aus der meistbeschädigten Partie des Kabels an genannte Anstalt zu senden.

Art. 8.

Die Kosten sämtlicher Untersuchungen und Proben der Kabel fallen der Eisenbahngesellschaft zur Last.

Art. 9.

Die Bahnverwaltungen haben für die rechtzeitige Beschaffung eines Reservekabels zu sorgen.

Art. 10.

Die gegenwärtige Verordnung tritt sofort in Kraft. Das Eisenbahndepartement wird mit den Vollziehungsanordnungen beauftragt.

Bern, den 12. Januar 1894.

Befestigung der Drahtseile. Die Befestigungsart hat auf die Dauerhaftigkeit und Betriebssicherheit großen Einfluß, und ist ein festes Einspannen des



Seiles, weil schwächend, zu vermeiden. Damit sich die Litzen untereinander, sowie auch die Drähte möglichst gleichmäßig in ihre Arbeit teilen, soll die Befestigung in folgender Weise vor sich gehen:

1. Gründliche Reinigung des Seilendes auf hinreichende Länge.
2. Vorübergehende Drahtumspinnung unmittelbar hinter der beabsichtigten Schnittstelle, zur Erleichterung des Abschneidens und zur Schonung der Drähte, sowie zur Erzielung eines sauberen Schnittes.
3. Möglichst kräftige Umspinnung des Seiles mit ausgeglühtem Eisendraht (ca. 1,5 mm), und zwar je nach Seildurchmesser 150 bis 250 mm vom Ende entfernt. Dieser zweite Bund verhütet die Lockerung der Drähte und Lageänderung der Litzen während der folgenden Arbeiten.
4. Abschneiden des Seiles und Entfernen des Drahtbundes neben der Schnittstelle.
5. Strahlenförmiges Auseinanderlegen der Drähte und Beseitigung der Hanfseele bis an den Bund.
6. Reinigen des Drahtbüschels durch längeres Eintauchen in Petroleum; Abreiben der Drähte mit Schmirgelpapier.
7. Beizen der Drahtenden. (Das Eindringen von Beizewasser in die Hanfseele ist sorgfältig zu verhüten.)
8. Verzinnen der Drähte durch mehrmaliges Eintauchen in flüssiges Zinn.
9. Umbiegen der verzinnten Drähte und Vorschieben der Seilbüchse über das Drahtbüschel.
10. Vorwärmen der Seilbüchse auf einem Holzkohlenfeuer.
11. Vergießen mittels Komposition (10 v. H. Kupfer, 10 v. H. Antimon und 80 v. H. Zinn).

    Das Kabel muß genau in die Mitte der Büchsenbohrung zu stehen kommen. Auch hinter dem Drahtbüschel soll die Komposition noch auf einige Zentimeter anfassen.

Nach Erkalten des Vergusses wird die Seilbüchse, welche innen nicht verzinnt sein darf, zurückgetrieben, so daß der Verguß besichtigt werden kann.

Das zu Festigkeitsproben einzuliefernde Seilstück muß mindestens 6,20 m Länge haben und in Abständen von 1,20 m und 6,20 m vom freien Ende drei Wickel von 10 bis 12 cm Länge tragen. Der Versand an die eidg. Festigkeitsanstalt in Zürich erfolgt entweder in gestreckter Form, an ein gleich langes Lattenstück gebunden, oder auf eine Rolle von mindestens 1,5 m Durchmesser aufgewickelt.

Seilführung. Durch gerade und schiefe Rollen, die in gewissen Abständen zwischen den Laufschienen angeordnet sind, wird das Zugseil getragen.

a) Gerade Seilrollen. Ihre Achse ist wagrecht, der Scheibendurchmesser wechselt von 120 bis 600 mm. Auf Flacheisen von etwa 70/10 mm stehende Lager nehmen die Rollenachse auf. Bei älteren Ausführungen waren Rolle und Achse verkeilt, jetzt läuft erstere meist lose auf letzterer. Für gute Schmierung ist zu sorgen. Die Rollenentfernung muß so bemessen werden, daß das Seil auch bei der geringsten Spannung nicht auf den Schwellen schleift.

Bezeichnet Z die kleinste Seilspannung, f die Höhe des Seiles in den Tragrollen über den Schienen in Zentimeter, α den Winkel mit der Wagrechten zwischen zwei aufeinanderfolgenden Rollen, p das Seilgewicht für 1 m Länge, p_1 das Seilgewicht für 1 m der Projektion auf die Wagrechte; dann folgt nach Vautier:

$$Z \cos \alpha = \frac{p_1 l^2}{8f},$$

woraus

$$l = \sqrt{\frac{8fZ \cos \alpha}{p_1}}.$$

l = Horizontalprojektion der Entfernung zweier Rollen und l' die wirkliche Entfernung.

$$p_1 = \frac{p}{\cos \alpha}, \quad \text{somit} \quad l = \cos \alpha \sqrt{\frac{8fZ}{p}}$$

oder

$$\frac{l}{\cos \alpha} = \sqrt{\frac{8fZ}{p}} = l'.$$

Die Entfernung der Rollen soll immer kleiner sein, als der durch Rechnung erhaltene Wert. In den Krümmungen verringert sich der Rollenabstand.

Abb. 287 zeigt eine Rolle der Bürgenstockbahn, Abb. 288 eine bei neueren Bahnen gebräuchliche Rolle. Um dem Seilverschleiß möglichst vorzubeugen, wird die Seilrinne oft ausgepolstert. So hat z. B. Ingenieur Cornaz für die Seilbahn Lausanne-Ouchy einen Kautschukring angewendet; Territet-Glion[83]) und andere Seilbahnen gießen die Rollenkehle mit Komposition aus; Agudio wählte Kupferfutter und noch andere bedienen sich der Holzfutter (Hirnholz in Stücken). Bei längeren Bahnen

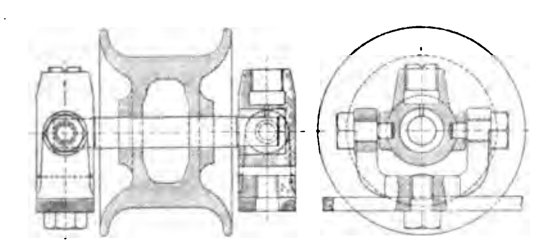


Abb. 287. Gerade Rolle (Bürgenstock).

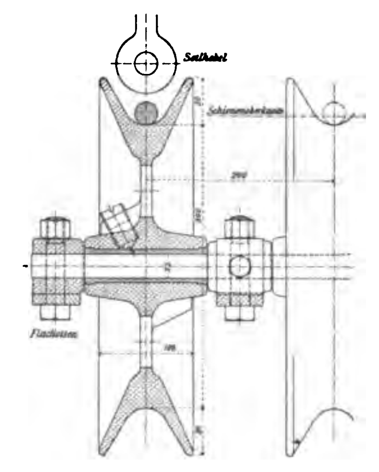


Abb. 288. Gerade Rolle.

müssen die Rollen möglichst leicht gemacht werden. Rollen von etwa 300 mm Durchmesser können aus zwei entsprechend gepreßten Stahlblechen mit Holz- oder Gußeisen-Zwischenlagen von 50 bis 60 mm Breite hergestellt werden.

b) Schiefe Seilrollen. In den Krümmungen können keine Rollen mit wagrechter Achse verlegt werden, weil das Seil durch den seitlichen Zug herausspringen würde. Früher behalf man sich damit, daß neben die gewöhnliche Tragrolle eine solche mit lotrechter Achse gestellt wurde. Die jetzt zur Anwendung kommenden Rollen (Abb. 289) haben ungleiche Ränder und werden so eingebaut, daß das Seil gegen den größeren Kranz drückt. Das tiefer liegende Rollenlager hat dabei einer Kraft zu widerstehen, welche es zu heben sucht. Die Rille ist ebenso ausgefüttert wie bei den geraden Seilrollen, hat aber größeren Durchmesser. Lagerung und Schmierung sind wie bei den geraden Rollen. Die Seiltragrollen werden numeriert und dienen zur Bezeichnung der Strecke und des Seiles.

[83]) Gemisch von 10 v. H. Kupfer, 10 v. H. Antimon, 80 v. H. Zinn.

Früher, als infolge mangelhafter Anpassung an das Gelände keine richtigen Übergangskrümmungen erreicht werden konnten, mußte das Seil durch Spannrollen auf den Tragrollen zurückgehalten werden. Dies war z. B. bei der Territet-Glion-Drahtseilbahn der Fall und wurde durch die in Abb. 290 und 291 abgebildete Vorkehrung bewerkstelligt.

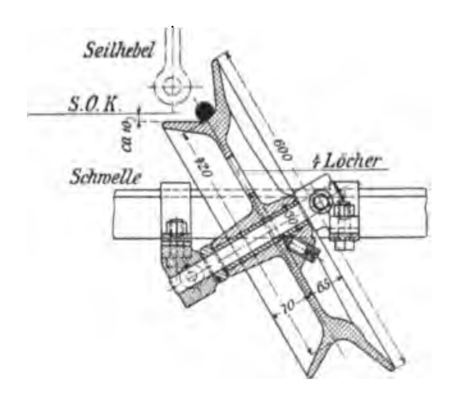


Abb. 289. Schiefe Seilrolle.

Ein doppelarmiger Hebel H war an den Enden mit den Rollen A und B versehen, von denen erstere zur Unterstützung, letztere zur Seilführung im Gefällswechsel diente. Auf der Nabe des Hebels H war der Daumen h angebracht, welcher die Auslösung einer Klinke bewirkte. Die beiden Mitnehmerdaumen $D\,D$, von denen der eine bei Bergfahrt, der andere bei Talfahrt gegen eine Stoßvorrichtung am Wagen stieß, drehten H. Das Gegengewicht G bewirkte richtiges Einschnappen der Stellfalle. Die Stoßvorrichtung am Wagen berührte zunächst h, wodurch die Klinke aus dem Einschnitt (Abb. 291) ausgerückt, dann erst einer der Daumen D bewegt wurde. Eine Mäßigung der Wagengeschwindigkeit sicherte bessere Wirkung der Stoßvorrichtung. Durch Abändern des Längenschnittes ist der Gefällsbruch beseitigt und die ganze betriebsgefährliche Vorrichtung überflüssig geworden.

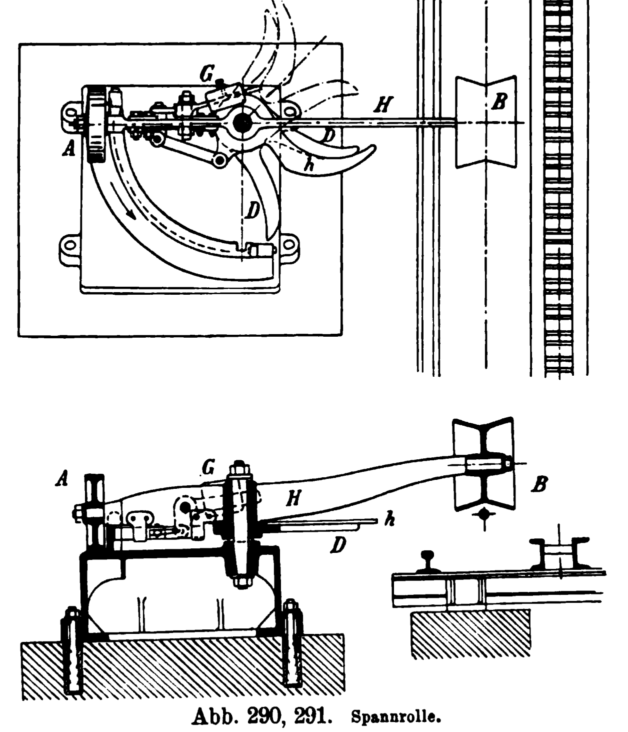


Abb. 290, 291. Spannrolle.

Bei der 690 m langen Gipsbahn von Ennetmoos[84]) am Stanserhorn (erbaut 1888) handelt es sich darum, oberhalb der Mitte, in einer von der natürlichen Seilkurve um etwa 9 m abweichenden Einsenkung das Seil so zu führen, daß es in der ihm zugewiesenen Stellung verbleibt und außerdem den Wagen ein anstandsloses Darüberwegfahren gestattet. Um das zu erreichen sind an der tiefsten Stelle der Einsenkung eine Anzahl Rollen mit wagrechter Achse einseitig gelagert. Von der offenen Seite her legt sich das Seil unter diese Rollen, sobald der Wagen die Stelle hinter sich hat, was dadurch herbeigeführt wird, daß der Seilhebel eine

[84]) Schweiz. Bauztg. 1888, Bd. XII, S. 128 und 129.

bestimmte Form erhält, dann aber auch dadurch, daß die zur Kreuzung notwendige Ablenkung dazu benutzt wird, das Seil selbsttätig in seine neue Lage zu zwingen und dort festzuhalten, bis der Wagen das Seil wieder auslöst. Dies ist die erste Anwendung der festen Rollen in Gefällsbrüchen; sie beweist aber, daß diese mit voller Sicherheit durchfahren werden können.

Abb. 292 zeigt ein Stück der nach diesem Muster erbauten Seilbahn in Hâvre. Drei Rollen, unter welche sich das Seil legt, nachdem sein Befestigungspunkt am Wagen die gestrichelte Bahn durchlaufen hat, verhindern in dem mit 120 m Halbmesser vermittelten Übergang von 415 auf 150 v. T. Steigung das Abheben des Seiles. Kräftige Rollenverankerung ist notwendig.

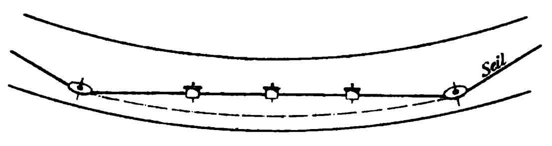


Abb. 292. Druckrollen.

Ablenkungsrollen, welche meist nur bei Anlagen mit Wasserübergewicht zur Verwendung kommen, haben den Zweck, das zwischen den Schienen in kleiner Entfernung auf- und abgehende Seil durch ihre schiefe Stellung so abzulenken, daß es auf die Umkehrrolle sicher auflaufen kann, ohne aus den obersten Tragrollen gerissen zu werden. Das Seil wird durch sie in die richtige Entfernung zusammengedrückt. Die Ausführung dieser Rollen ist derjenigen der Umleitungsrollen ähnlich.

Umleitungsrollen, am oberen Streckenende aufgestellt, dienen dazu, das von der einen Seite kommende Seil nach der andern zu lenken. Der auf- und absteigende Zug hängt an dieser Scheibe, deren Durchmesser von 2700 bis 6000 mm wechselt. Sie erhält meist die Neigung des obersten Teiles der Strecke, wenn Wassergewicht zum Betriebe verwendet wird (Abb. 293). Der Kranz wird bisweilen mit Leder, Buchen-, Eschen- oder Nußbaumholz belegt, um die Reibung zu vergrößern (Abb. 294). Wenn eine feststehende Betriebsmaschine vorhanden ist, so muß das Seil mehrmals um die Seilscheiben geschlungen werden. Zur Vergrößerung des umspannten Bogens kann das Seil in 8-förmiger Umschlingung zwischen Antriebscheibe und Vorgelegerollen geführt werden.

§ 25. Vergnügungs-(Touristen-)Bahnen. Fortsetzung. — Antrieb. Derselbe kann durch Wasserübergewicht, Turbinen, Dampfmaschinen, Gas-, Benzin- oder elektrische Maschinen bewirkt werden.

Das Wassergegengewicht gewährt die einfachste Betriebskraft, da es nur durch seine Schwere wirkt und keine großen Anlagen erforderlich macht. Die Geschwindigkeit wird vom Führer des talwärts fahrenden Wagens durch eine Zahnradbremse geregelt. Die Überlast des zu Tal fahrenden Zuges ist, abgesehen von der (jetzt auch umgebauten) Linie Lauterbrunnen-Grütschalp, eine unveränderliche und muß dem ungünstigsten Moment der Fahrt angepaßt sein. Lastwasserbetrieb eignet sich besonders da, wo billiges Wasser zu haben ist, für eine Fahrt wenig gebraucht wird, und wo kein zu reger, zeitweise stark anschwellender Verkehr zu berücksichtigen ist.

Ein Behälter in der Nähe der oberen Station, mit letzterer durch eine Rohrleitung verbunden, hält das notwendige Wasser bereit, und kann mit Schwimmer zur selbsttätigen Nachfüllung versehen werden. Ein von der Wagenbühne aus zu bedienender Schieber verschließt den Wasserauslauf. Auf der unteren Station findet selbsttätige Entleerung des Wasserkastens statt. Abb. 295 zeigt ein diesem Zwecke

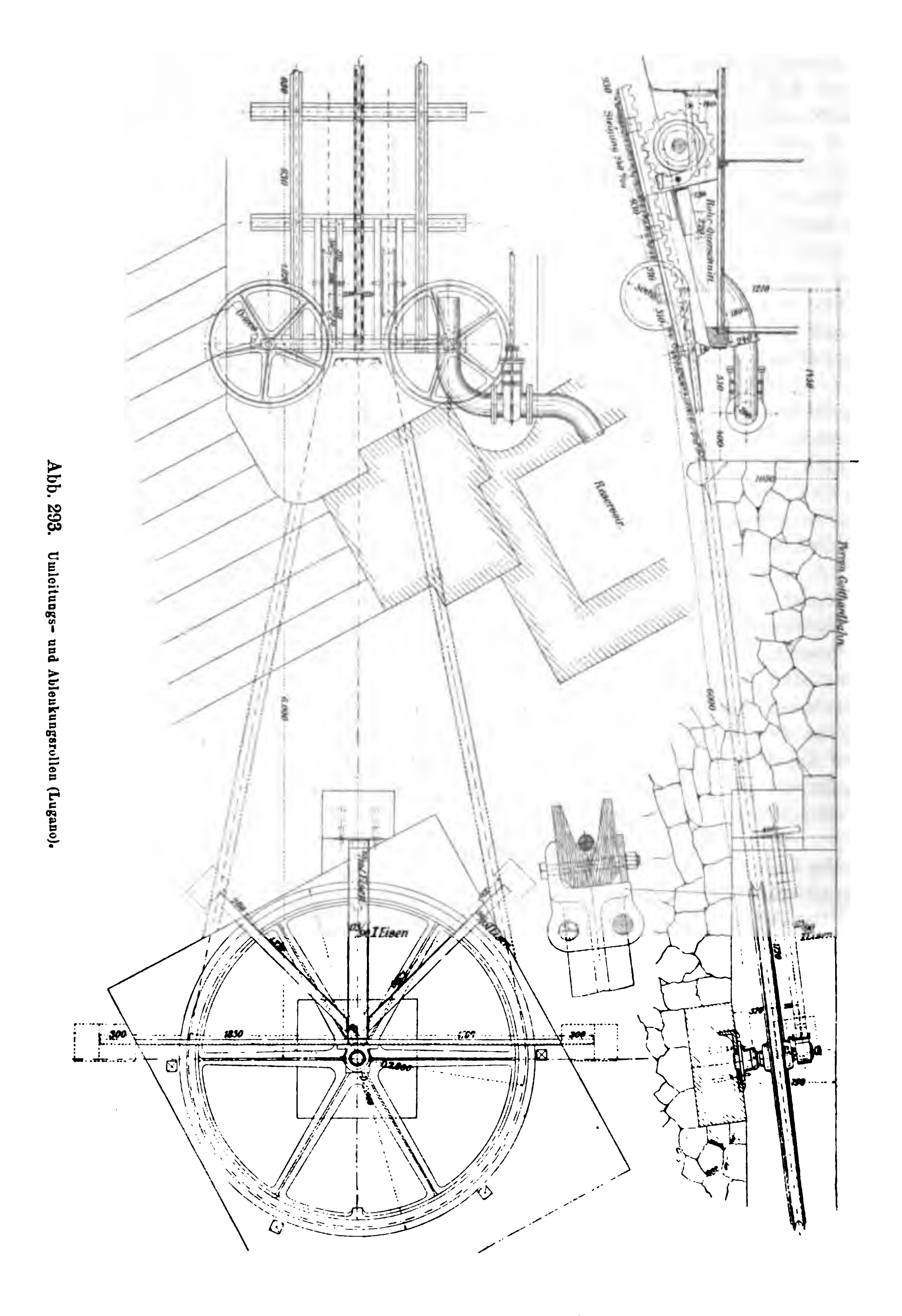


Abb. 293. Umleitungs- und Ablenkungsrollen (Lugano).

dienendes Tellerventil, welches von der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik in Winterthur für die Seilbahnen in Nischni-Nowgorod ausgeführt wurde. Der mittels Regelungsschraube in seiner Ruhelage verstellbare Hebel *a* läuft auf einer schief ansteigenden Schiene (Flach- oder ΓEisen) *bc* auf, hebt dadurch die Ventilspindel und verschafft dem Wasser Ausfluß. Die Ventildichtung erfolgt durch den Lederring *d*. — Bei früheren Ausführungen lief die Ventilspindel selbst auf der Schiene, während diese neuere Ausführung jede Verbiegung der

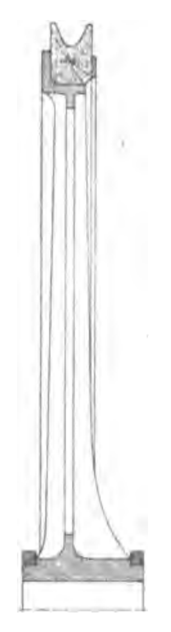


Abb. 294. Umleitungsrolle (Bürgenstockbahn).

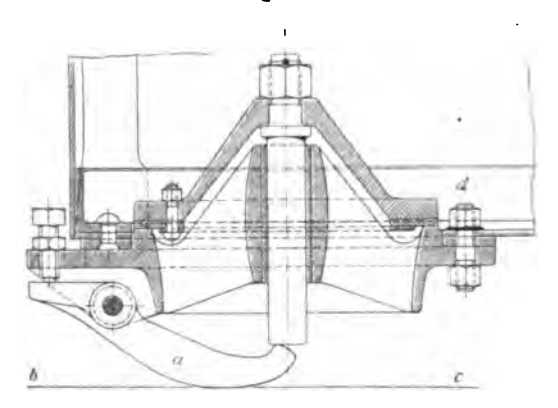


Abb. 295. Ablaßventil.

Spindel vermeidet. Um große Schwankungen zu verhüten, werden die Wasserkasten bisweilen durch Bretterwände in verschiedene Abteile getrennt (Nischni-Nowgorod). Auf der dem Einfüllrohr entgegengesetzten Seite wird ein Luftrohr ($^6/_8$ bis 1″ Gasrohr) angebracht, damit die Luft entweichen kann.

W a s s e r v e r b r a u c h. Für die Bestimmung des Wassergewichtes, mit welchem der obere leere Wagen belastet werden muß, ist die ungünstigste Strecke der Bahn maßgebend. Aus Gleichung (1) § 23 folgt für den Gleichgewichtszustand oberhalb der Kreuzung für den ziehenden Wagen ohne Ausgleichseil:

$$Q = \frac{P \sin\beta - P_1 \sin\alpha + ph + (P + P_1) f + C}{\sin\alpha - f}.$$

Für die Kreuzung:

$$Q = \frac{(P - P_1) \sin\gamma + (P + P_1) f + C}{\sin\gamma - f}.$$

Und unterhalb der Kreuzung:

$$Q = \frac{P \sin\alpha - P_1 \sin\beta - ph + (P + P_1) f + C}{\sin\beta - f}.$$

Tatsächlich muß, um eine g l e i c h f ö r m i g e B e w e g u n g zu erhalten, ein Mehrgewicht an Wasser gefaßt werden. In diesem Falle ist es dann möglich, an jeder Stelle der Bahn anzuhalten und wieder anzufahren. Zwischenstationen kommen bei Seilbahnen mit Wasserübergewicht nicht vor, obschon dieselben gut zulässig wären. Ein vergrößertes Wassergewicht kann auch verwendet werden, um die B e w e g u n g des Zuges

einzuleiten, doch ist dieser oft kostspielige Ballast, welcher die Bremsen auf der offenen Strecke unnötig in Anspruch nimmt, für den Betrieb nachteilig.

Die zusätzliche Wassermenge berechnet sich nach der Formel:

$$q = \frac{(P + P_1 + Q + pL + G)\,V_0^2}{2gl''\sin\alpha - V_0^2}.$$

V_0 bezeichnet hierbei die unveränderliche Geschwindigkeit, welche das Fahrzeug nach Zurücklegung der Strecke l'' erreicht haben soll; G das Gewicht der in Bewegung kommenden Leit-, Ablenkungs- und Umleitungsrollen. Bei Verwendung eines Ausgleichseiles muß $2pL$ an Stelle von pL gesetzt werden, während sich G entsprechend vergrößert.

Verschiedene der mit Wasserübergewicht gebauten Vergnügungsbahnen sind in den letzten Jahren für elektrischen Antrieb umgebaut worden.

Turbine. Diese kann unmittelbar zum Antrieb des Windwerkes verwendet werden, wie dies bei der Seilbahn Lausanne-Ouchy geschieht (vgl. Beispiel 1), wird aber bei Neuanlagen wohl kaum wieder in Frage kommen.

Dampfmaschine. Die bei Seilbahnbetrieb zur Verwendung kommenden Dampfmaschinen müssen leicht umgesteuert werden können, wie Bergwerksfördermaschinen, sie müssen bei verschiedenen Kraftbedürfnissen leicht regelbar sein und durch einen leistungsfähigen Kessel, der bei Erfordernis rasch Dampf bildet, gespeist werden. Kondensation ist infolge des sehr wechselnden Ganges kaum verwendbar. Horizontale Zweizylindermaschinen finden vorzugsweise Anwendung. Ältere Seilbahnen, sowie teilweise auch neuere in Amerika haben hauptsächlich Dampfbetrieb. Bei der einen Seilbahn in Hâvre erfolgt der Betrieb durch auf den Wagen in Serpolletkesseln erzeugten Dampf. Die Kessel haben 8 qm Heizfläche und es arbeitet, bei gleicher Belastung der Wagen, der aufsteigende mit 4 Atm., der absteigende mit 1 bis 2 Atm. Druck. Das Aufwärtsfahren des beladenen Wagens ohne Seil erforderte 18 Atm. Kesseldruck. Die Zylinder von 160/150 mm liegen außerhalb der Rahmen zwischen den beiden Achsen. Der mittlere Kraftverbrauch beträgt 21 PS. Die Anlage ist nicht mustergültig und hat monatelange Betriebsunterbrechungen[85]).

Zum direkten Antrieb des Windwerkes können Benzinmotoren (Lausanne-Signal vor dem Umbau) oder Gasmotoren (als Reserve für Locarno-Madonna del Sasso) verwendet werden. Dowson- oder auch Sauggasmotoren können zum Betrieb der Erzeuger Benutzung finden (Davos-Platz-Schatzalp-Drahtseilbahn, ausgeführt von der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik in Winterthur).

In neuerer Zeit findet der elektrische Antrieb mehr und mehr Anwendung, zumal wenn Wasserkraft nicht unmittelbar verwendbar ist. Gegenüber den Wasserlastbahnen hat er folgende Vorteile: Leichteres Wagengewicht, leichteres Einhalten gleichmäßiger Fahrgeschwindigkeit, Möglichkeit der Änderung der Fahrrichtung auf offener Strecke, Wegfall von Zahnstangen nebst den darauf wirkenden Bremsen, größere Freiheit in der Bemessung der Regulierbremsen, Möglichkeit größerer Fahrgeschwindigkeit, Anlage steiler Bahnen, leichteres und deshalb haltbareres Seil, welches kleine Krümmungshalbmesser zuläßt.

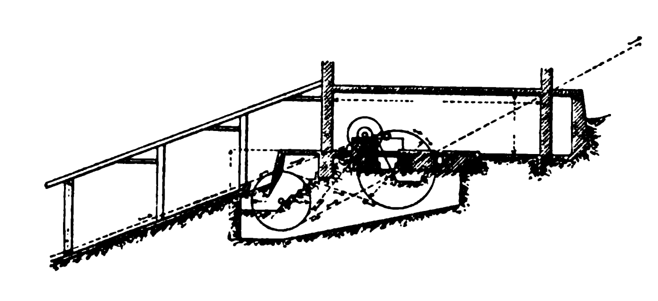
Eine Erzeuger-(Generator-)Station, in welcher Turbinen-, Gas- oder Dampfmaschinen die Erzeuger treiben, gibt den Strom ober- oder unterirdisch an die

---

85) Siehe Génie civil 1895, Okt., S. 389.



Antrieb-(Motoren-)Station ab. Der Motor treibt das Windwerk mittels Riemen- oder Zahnradübersetzung. In Abb. 296 und 297 ist die Umsteige- und Antriebstation der San Salvatore-Bahn dargestellt. In der Erzeugerstation untergebrachte Akkumulatoren können zum Ausgleichen der Belastungsschwankungen dienen, indem die überschüssige Kraft zum Laden der Batterie verwendet wird, so daß aushilfsweise Betriebskraft geliefert



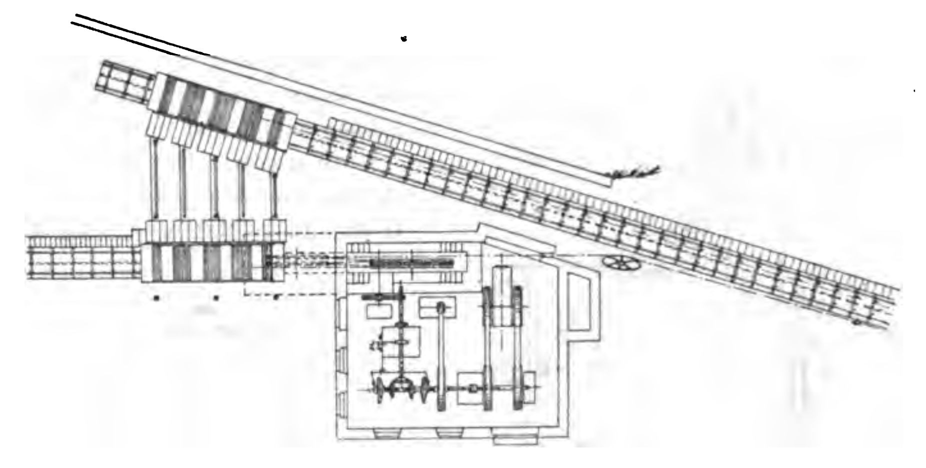


Abb. 296, 297. Antriebstation Pazallo (Salvatore).

werden kann. Die Änderung der Bewegungsrichtung erfolgt durch Umschalten des Motors, durch Reibungs- oder Zahnkuppelungen.

Bei Motorenbetrieb erfordert das Anfahren eine Zusatzkraft von

$$d = \frac{P + pl''' + G}{l''} \cdot \frac{v^2}{2g}.$$

l'' und G bezeichnen die Länge des Seiles, bzw. das Gewicht der Tragrollen zwischen dem Motor und der Station, von welcher aus der abwärts fahrende Zug abgeht.

Für den Umbau der Seilbahn Lugano-Stadt-Bahnhof ist elektrischer Betrieb in der Weise vorgeschlagen, daß auf dem einen Wagen ein Elektromotor aufgestellt wird, der, von Fahrdraht oder dritter Schiene Strom abnehmend, auf der Zahnstange berg- oder talwärts arbeitet. Der andere Wagen ist als gewöhnliches Seilbahnfahrzeug mit Zahnradbremse ausgerüstet.

Die Trambahn Rocca-Monreale in Palermo[86]) verwendet auf ihrer Steilrampe Blindwagen mit Schneckenantrieb.

Die selbsttätige Stationsbremse ist, wie in Abb. 298 veranschaulicht, eine Fallgewichtsbremse und wird durch den Regler, das Pedal oder einen Anschlag am Wagen ausgelöst. Bei Überschreiten der zulässigen Fahrgeschwindigkeit um 5 bis

[86]) Siehe Beispiel 6.

10 v. H. stößt die aus dem Schwungregler *a* vorgetretene Nase *b* gegen den ⊥förmigen Hebel *c*, durch welchen das Gelenkstück *d* aus seiner stützenden Stellung gerückt und durch das Gestänge *eg* das Fallgewicht *h* freigegeben wird. Das auf die Rolle *i* aufgewickelte Drahtseil *k* dreht bei sinkendem Gewicht die mit Rechts- und Linksgewinde versehene Bremsspindel *l*, dadurch die Holzbremsbacken an die Bremsscheiben drückend. Die Klinke *m* schlägt bei jedem Spiel der selbsttätigen Bremse gegen die Nase des Gleitstückes *n*, wodurch der elektrische Schalthebel *o* ausgerückt wird. Bei Öffnen der Bremse von Hand mittels Kettentrieb *p* wird das Stützgestänge *cdeg* durch die Feder *f* wieder selbsttätig eingerückt. Durch den Fußtritt *q* und Drahtseil *r* oder Gestänge kann der Maschinenwärter das Gewicht *h* von seinem Standorte her auslösen. Hat sich der aufwärts gehende Wagen dem Puffer bis auf etwa 2 m genähert, so löst ein Anschlag *s*, welcher gegen den Hebel *t* schlägt, das Gewicht und damit die selbsttätige Bremse aus, zugleich den Strom unterbrechend. Abb. 299 zeigt einen Streckenzeiger (Lauterbrunnen), der neben dem Geschwindigkeitsmesser angebracht werden muß.

W a g e n. Die Wagen bestehen aus dem gewöhnlich in Holz ausgeführten Oberkasten

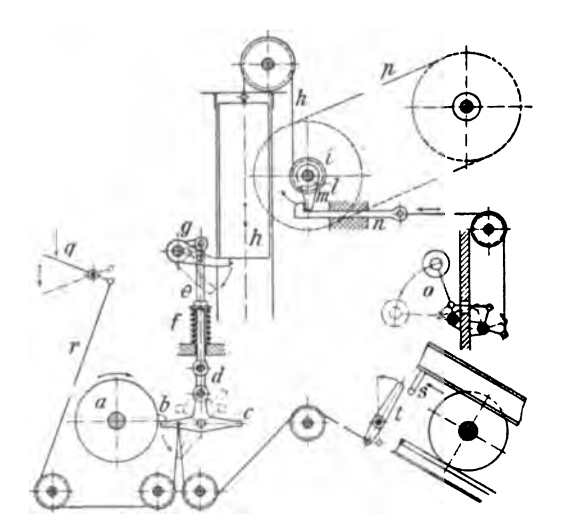


Abb. 298. Selbsttätige Stationsbremse der Schweiz. Lokomotivfabrik.

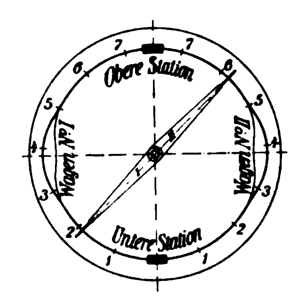


Abb. 299. Streckenzeiger.

und dem meist zweiachsigen Untergestell. Beide müssen sehr kräftig miteinander verbunden sein, damit bei plötzlichem Bremsen des Untergestelles der Wagenkasten sich nicht verschiebt oder losreißt. Gewöhnlich ist nur eine Wagenklasse vorhanden, doch sind verschiedene Abteilungen gemacht. Ein Mittelgang eignet sich nur für ganz kurze Wagen auf besonders gebauten Untergestellen (Marzilibahn in Bern). Der Wagenboden wird für Bahnen mit wechselndem Gefäll für eine mittlere Steigung wagrecht liegend angenommen. Die meist als Lattensitze hergestellten Bänke sind der mittleren Steigung ebenfalls angepaßt, so daß sie in allen Bahnneigungen bequem sind. An den beiden Wagenenden sind gewöhnlich Bühnen angebracht, von denen der Wagenführer bei der Bergfahrt die obere, bei der Talfahrt die untere einnimmt, um das Gleis zu überwachen. Die Wagen sind entweder als offene, halboffen-halbgeschlossene oder ganz geschlossene Abteilwagen gebaut, deren einzelne Abteilungen durch ganze oder halbhohe Wände getrennt und während der Fahrt durch verriegelte Türen nach außen abgeschlossen sind. Ob halboffene oder geschlossene Wagen zu wählen sind, richtet sich nach der Gegend, sowie dar-

nach, ob nur Sommerbetrieb oder Jahresbetrieb stattfinden soll. Bei geschlossenen Wagen kann die Verriegelung der Türen z. B. durch beiderseitig längs des Wagens laufende, von den Endbühnen aus zu bedienende Kettenzüge oder Wellen bewirkt werden, an welchen von oben Bolzen in die Schiebetüren einfallen. Durch Anziehen der Kette, bzw. Drehen der Welle heben sich die Bolzen und lassen die Türen frei bewegen. Seitliche Türen empfehlen sich deshalb, weil sie beim Steckenbleiben des Wagens ein bequemes Aussteigen gestatten, und weil bei zweigleisiger Anlage immer auf der gleichen Seite eingestiegen, bei eingleisiger auf einer Seite eingestiegen und auf der anderen ausgestiegen werden kann. Seitliche Trittbretter sind wegzulassen, da sie den Lichtraum verengen und an den Einsteigrampen hindern würden; durchlaufende Bretter sind der verschieden hoch angeordneten Abteilböden wegen meist nicht anwendbar. Die Abteile haben eine Länge von 1,4 bis 1,5 m bei einer Wagenkastenbreite von 2,0 bis 2,8 m, bzw. 3,15 m für die Regelspurbahn Lausanne-Ouchy, wobei vier bis fünf Plätze nebeneinander angeordnet sind. Die Wagen fassen 14 bis 70 Personen. Auf den Endbühnen sind gewöhnlich Stehplätze vorgesehen. Bei schwachem Personenverkehr dienen die Endbühnen dem Gepäcktransport.

Die Wagenkasten werden aus Hartholz (Eiche, Esche, Nußbaum, Ulme), die Verschalungen, das Dach und die Bänke aus Weichholz hergestellt. Für richtigen Wasserablauf vom Dach ist zu sorgen und kann dasselbe z. B. wie an der Dolderbahn in Zürich durch als Griffstangen und Dachträger ausgebildete Röhren abgeführt werden.

Um zeitweiligen großen Güterbeförderungen genügen zu können, werden die Wagen einiger Bahnen (z. B. Lauterbrunnen-Grütschalp) so eingerichtet, daß der eine Kasten weggeschoben und durch eine große Bühne ersetzt werden kann. Dies geschieht jedoch nur im Frühling und Herbst, wenn der Verkehr beinahe aufgehört hat. Abb. 300 zeigt den Wagen der 1902 von der Schweizerischen Lokomotivfabrik in Winterthur umgebauten Seilbahn Lauterbrunnen-Grütschalp[87]).

Untergestell. Dasselbe wird entweder durch zwei Längsbleche oder durch ⊐ Eisen gebildet, welche durch starke Querverbindungen versteift sind. Erstere Anordnung wird überall da Anwendung finden müssen, wo ein Wasserkasten notwendig ist, der infolge seines bedeutenden Inhaltes dazu zwingt, den Platz möglichst auszunutzen. Ein Einlaufrohr am oberen Wagenende dient dann zum Füllen, während ein Wasserstandsglas den Führer über die gefaßte Menge unterrichtet. Das Untergestell wird meist nicht mit Federn versehen, doch werden bisweilen Wagenober- und Unterteil durch Kautschuk- oder Filzzwischenlagen getrennt. Die Stoßbalken erhalten entweder Puffer mit Federn, gewöhnlich aber nur Eichenholzklötze, welche sich gegen die Stationspuffer anlegen. Das Eigengewicht für die Achse beträgt rd. 2,9 t, d. h. 0,162 t für den Platz. In einzelnen Fällen kann 0,120 bis 0,160 t für den Platz genügen. Bei den schweizerischen Seilbahnen kommen auf eine Achse 18,2 Plätze.

Um Langholz unter den Wagenkasten befördern zu können, hat die Grütschalpbahn ebenfalls eine Einrichtung getroffen.

Bremsen. Wir unterscheiden zwei Arten von Bremsen:

1. Handbremsen (vom Wagenführer bedient).
2. Selbsttätige Bremsen.

[87]) Cliché aus der Schweiz. Bauztg. 1905.

1. Handbremsen. Die älteren Bahnen mit Wasserübergewicht hatten Klotzspindelbremsen und Zahnrad zur Fahrgeschwindigkeitsregelung. Die gewöhnlichen Spindelbremsen wirken durch Hebelübersetzung auf Bremsklötze aus Gußeisen, Bronze oder Stahlguß mit Bronzeschleiffläche, bzw. auf glatte oder mit geriffeltem Bronzefutter versehene Bremsbänder, welche an besonderen, meist geriffelten Stahlgußbremsscheiben angreifen. Die Territet-Glion-Bahn hatte in der ersten Zeit eine Luftbremse nach Art der jetzigen Steilbahnluftbremsen, mit Luftbehälter und Regulierhahn.

Abb. 300. Wagen der Seilbahn Lauterbrunnen-Grütschalp.

Spätere Ausführungen zeigen Abt'sche Differentialbremsen, die jetzt aber nicht mehr gebaut werden.

Die selbsttätige Seilbruchbremse wirkt auf der gleichen Achse wie die Handbremse auf eine zweite Bremsscheibe, sobald eine durch Federkraft gedrehte Welle dem Fallgewicht den Stützpunkt entzieht. Auf der Führerbrücke wird oft eine Druckschiene mit Hebel und Gestänge angebracht, welche das Auslösen der Fallbremse gestattet.

Die erste Zentrifugalbremse wurde von Ingenieur Pauli für die Biel-Magglingenbahn gebaut.

Die Zentrifugalbremsen werden von den Laufachsen aus angetrieben. Der durch Räderübersetzung bewegte Zentrifugalregler bewirkt bei einer gewissen Umdrehungszahl das Auslösen der Bremsen.

Der Regler besteht aus einem geschlossenen, einseitig gelagerten Gehäuse, an dessen Umfang ein oder zwei Gewichte durch Hebelübersetzung mit Federn in Verbindung stehen. Sobald die zulässige Geschwindigkeit des Wagens überschritten wird, treten Gleitstücke aus dem Gehäuse und lösen mittels eines Anschlages die Fallgewichte aus. Abb. 301 und 302 veranschaulichen eine von der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik in Winterthur gelieferte Geschwindigkeitsbremse der Seilbahn Lugano.

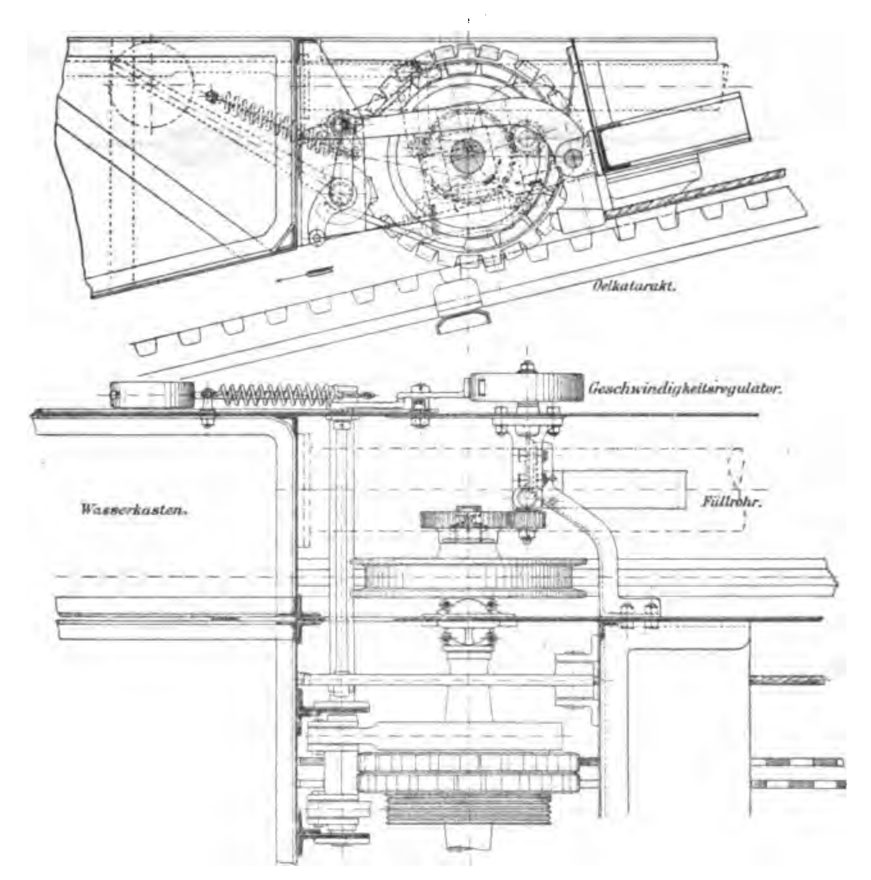


Abb. 301, 302. Geschwindigkeitsbremse.

Eine neuere Bremse für Wasserballastbahnen hat das Haus Bell & Co. in Kriens bei Luzern für Rheineck-Walzenhausen, sowie für den Umbau der Bahnen Gütsch

bei Luzern und Gießbach ausgeführt. Es ist eine einfach wirkende Bandbremse, je eine auf der rechten und linken Wagenseite auf beide Achsen wirkend. Die selbsttätige Bremse tritt bei zu großer Fahrgeschwindigkeit oder bei Seilbruch in Tätigkeit. Eine Klemmwalzenkuppelung, im Kettentrieb des Geschwindigkeitsreglers eingebaut, bewirkt, daß letzterer nur bei Talfahrt arbeitet. Das Anziehen der Bremse erfolgt durch die Reibung der Räder auf den Schienen.

Die neueste selbsttätige Bremse für Wasserlastbahnen (von Ingenieur Ruprecht, Direktor der Gießerei Bern) wurde 1899 zum erstenmal ausgeführt (Neuville-St. Pierre, Freiburg i/Ü.) und wirkt auf die nie ganz geöffnete Handbremse, beansprucht somit wenig Schließweg. Die in Abb. 303 dargestellte Bremse kann mit Klötzen oder Bändern

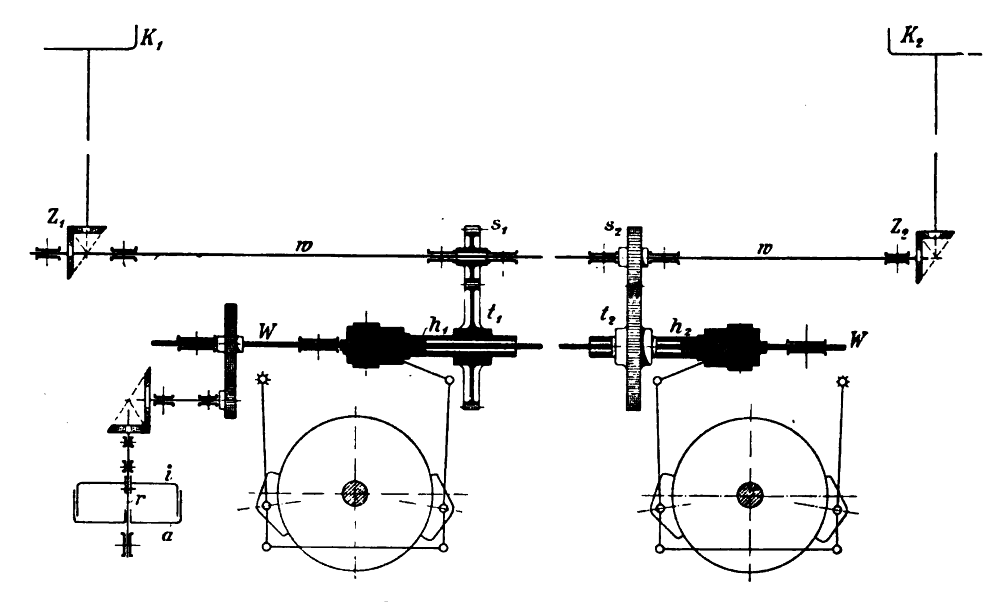


Abb. 303. Bremse für Wasserlastbahnen.

ausgeführt werden. Die Kurbel K_1 oder K_2 wirkt durch die Zahnradübersetzung z_1 bzw. z_2 auf die Zwischenwelle w und dreht durch die Stirnzahnräder $s_1 t_1$, $s_2 t_2$ die Hohlspindeln h_1 und h_2, welche, mit Rechts- bzw. Linksgewinde versehen, sich auf der Hauptbremswelle W drehen, dabei die Bremse anziehend. W nimmt infolge der großen Reibung in den Lagern usw. nicht an der Drehung teil.

Die Wirkung dieser Bremse als selbsttätige Bremse ist folgende: Nach Erreichen der zulässigen Größtgeschwindigkeit nimmt das äußere Gehäuse a der Zentrifugalkuppelung das auf der Welle r sitzende Stück i mit und dreht durch Räderübersetzung die Hauptwelle W. Die Hülsen h_1 und h_2 finden in ihren Lagern und in den Übersetzungen nach den Bremskurbeln so großen Widerstand, daß sie sich nicht drehen, sondern durch W einander genähert werden, wodurch die Bremsen angezogen werden. Die Bremsdrücke werden selbsttätig auf beide Achsen gleich verteilt, und bei Bruch der einen Hälfte der Bremse kann die andere gleichwohl angezogen und so der Wagen festgebremst werden.

Zangenbremsen. Die seit dem Bau der Stanserhornbahn (1893) neu hergestellten Seilbahnen weisen fast alle Keilkopfschienen und Zangenbremsen auf, und zwar aus

dem Grunde, weil damit die Zahnstange als Bremsmittel wegfallen kann, und somit kein Aufsteigen der Zahnräder bei raschem Bremsen zu befürchten ist, indem die Zangen den Wagen direkt an die Laufschienen verankern. Die in Abb. 304 bis 306 dargestellte, der Patentschrift von Bucher und Durrer entnommene Zangenbremse ist in ähnlicher Form am Stanserhorn zur Ausführung gekommen; allerdings wird das Rechts- und Linksgewinde in das obere Hebelende verlegt, so daß zugunsten der Bremskraft eine Hebelübersetzung vorhanden ist.

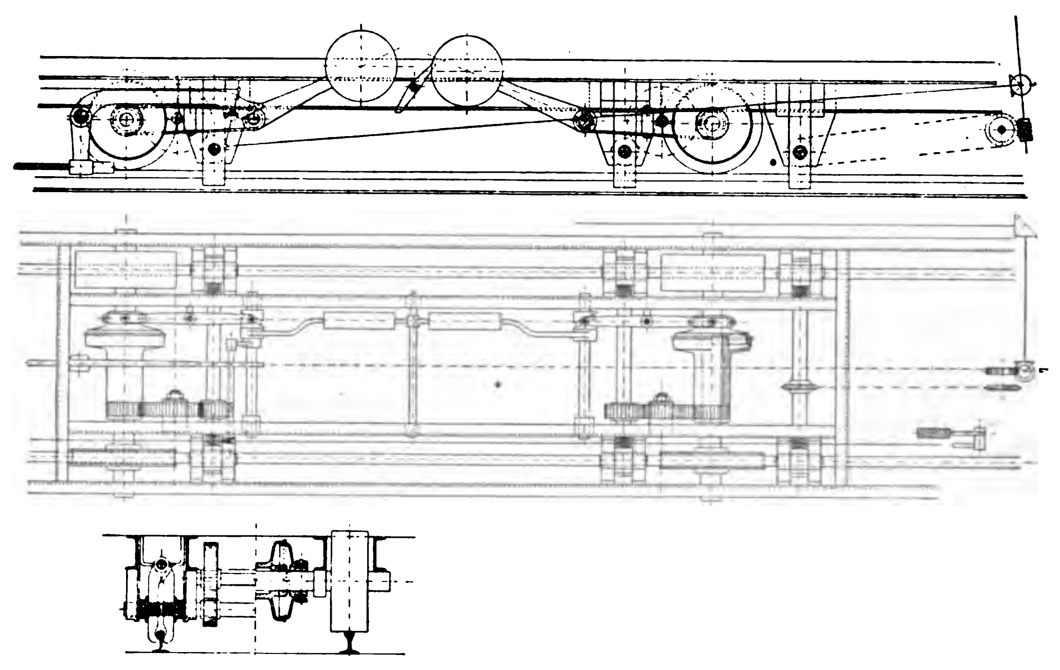


Abb. 304 bis 306. Zangenbremse mit Auslösung.

Nach Abb. 310 ergeben die Bremsdrücke SS eine Vertikalkraft V, welche Schienen und Wagen gegeneinander zieht, wodurch die Reibung der Laufräder auf den Schienen, die die Zangen betätigende Kraft, bis zu dem gewünschten Grade vermehrt wird. Schienen und Wagenuntergestell werden durch die Kraft $V = 2S \sin \alpha$ auf Biegung beansprucht. Diese Kraft hört erst auf, wenn durch das starke Anpressen auch die Laufräder zum Gleiten kommen.

Bei Bremsproben ergab sich ein Niederziehen des Untergestells um 3 bis 6 mm. Der Bremsweg von rd. 2 m zerfällt in den Freilauf (Schließweg) von etwa 1 m und den eigentlichen Bremsweg von gleicher Länge. Die als elastisches Zwischenstück eingeschaltete Kuppelung macht dabei $^1/_4$ bis $^1/_2$ Umdrehung.

Ingenieur Ruprecht, Direktor der Gießerei Bern, hat sich unter S. P. Nr. 20596 eine Zangenbremse für Spezialbahnen patentieren lassen, welche die Beanspruchung des Fahrzeuguntergestells und des Bahnunterbaues auf ein gewisses Maß beschränken, und anderseits die Resultierende der von den Zangenbacken seitlich auf den Schienenkopf ausgeübten Drucke für die Bremsung nutzbar machen soll.

In Abb. 307, 308 und 309 ist diese Bremse dargestellt. Die Spindel s, von den Laufrädern bewegt, treibt mit Rechts- und Linksgewinde die Muttern $m_1 m_2$ und

mit ihnen die oberen Zangenhälften auseinander, wodurch die um $z_1 z_2$ drehenden Zangenbacken sich an die Schiene festpressen. Die Vertikalkraft V wird durch das

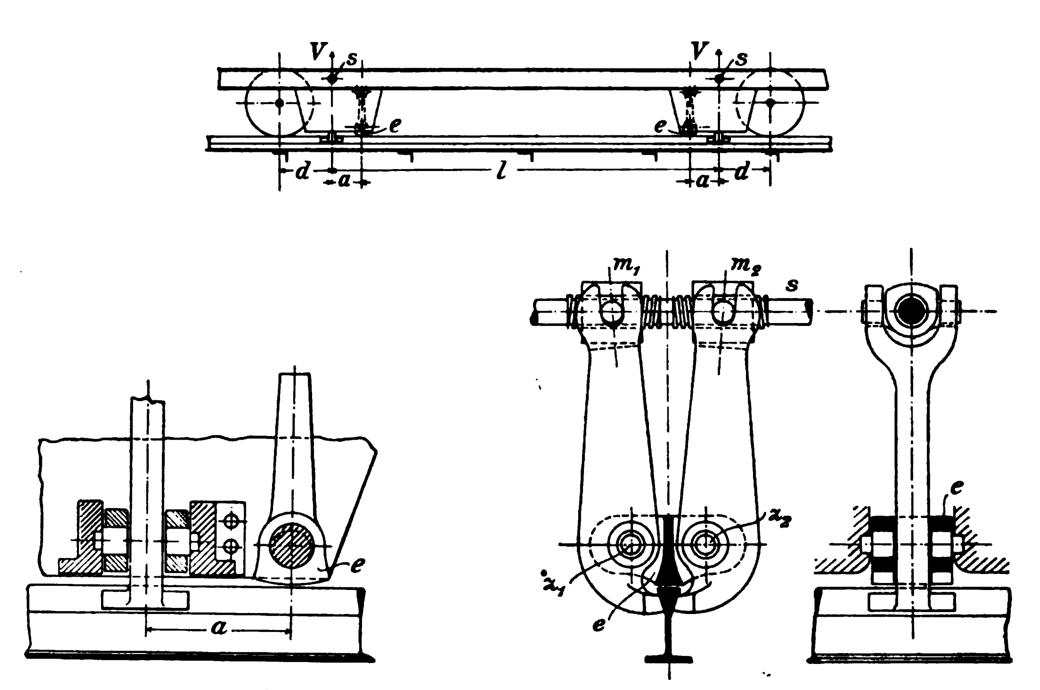


Abb. 307, 308, 309. Zangenbremse nach Ruprecht.

(mittels exzentrischem Zapfen) verstellbare Stück e aufgenommen. Nach Abb. 307 ist das Moment bei nur einer Zange $V \cdot \frac{d \cdot (l + d)}{2d + l}$ und bei zwei Zangenpaaren $V \cdot d$. Durch Zufügen des beliebig verstellbaren Stückes e, das wie Abb. 309 zeigt, auch direkt, allerdings dann nicht mehr verstellbar, zwischen die Zangenhälften verlegt werden kann, wird das Biegungsmoment auf der Schiene nur noch $V \cdot \frac{d \cdot a}{d + a}$. V wird dabei auch kleiner, da bei dreiseitigem Anpacken der Zange auch S kleiner wird.

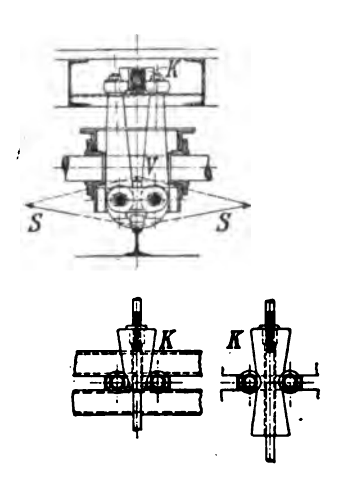
Die Gießerei Bern hat sich unter S. P. Nr. 20598 auch eine Zangenbremse schützen lassen, welche an gefederten Fahrzeugen angebracht werden kann. Wie in Abb. 310 bis 312 dargestellt, ist die Zange dabei in einem auf der nicht federnden Achse ruhenden Rahmen gelagert und wird durch ein zwischen Rollen verschiebbares Keilstück K von einfacher oder doppelt keilförmiger Gestalt zum Schluß gebracht.

Walloth[88]) schlägt vor, den Zangeneinzug durch unten am Keilkopf der Schiene angewalzte Wulste, gegen welche die Zange beim Bremsen mit ihrer Unterkante aufsitzen würden, auf etwa 2 mm zu beschränken.

Die Zangenbremse der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik in Winterthur (S. P. Nr. 29265) bezweckt die vertikale Kraft V als Bremskraft nutzbar zu machen, und die durch diese Kraft hervorgebrachte ungünstige Beanspruchung von

[88]) Vgl. Walloth, Die Eisenbahnbremsfrage. Wiesbaden 1903.

Wagen und Oberbau auf Durchbiegung ganz aufzuheben, durch Anwendung von zwei seitlichen (Abb. 313) gegen die Keilflächen der Schiene wirkenden und einem dritten auf die Lauffläche des Schienenkopfes drückenden Bremsbacken. Dieser letztere liegt



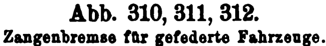


Abb. 310, 311, 312.
Zangenbremse für gefederte Fahrzeuge.

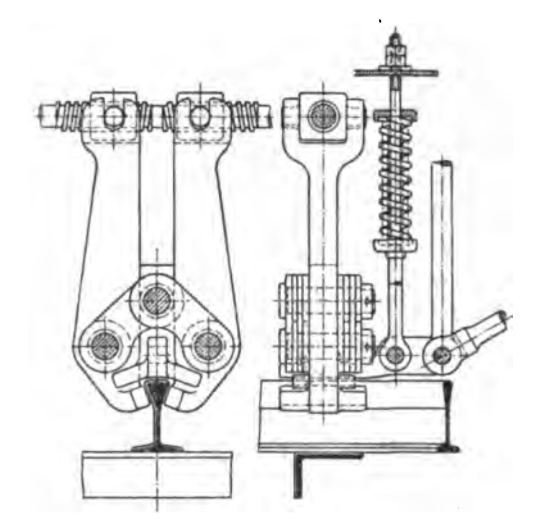


Abb. 313. Zangenbremse der Schweiz. Lokomotivfabrik.

zwischen den beiden seitlichen, dieselben gabelartig umfassend, und ist mit ihnen durch Gelenkstücke verbunden. Der kniehebelartige Bremsmechanismus wird durch eine mit verstellbarer Feder versehene Aufhängvorrichtung von den Schienen abgehalten. Die Zangenpaare werden unter sich, sowie mit dem Wagenuntergestell in geeigneter Weise verbunden.

Es sei noch die Zangenbremse der unter Beispiel 6. beschriebenen Seilbahn von Rocca-Monreale erwähnt.

Nachfolgend einige Bremsergebnisse der Mendelbahn.

Steigung	Wagengewicht	Belastung	Zusammen	Brems- und Schließweg in m	Bemerkungen
v. H.	kg	kg	kg	m	
16,5	6300	—	6 300	0,60	1 Zangenpaar allein
16,5	6300	—	6 300	0,56	2 Zangenpaare
16,5	6300	1800	8 100	0,62	2 „
16,5	6300	1800	8 100	0,65	2 „ , Schienen allseitig stark eingefettet
64,0	6300	600	6 900	1,6	2 „
64,0	6300	3900	10 200	1,82	2 „ , der eigentliche Bremsweg (vom Moment des Anliegens bis zum Stillstand) betrug für die eine Zange 1360 mm, für die andere 1240 mm.

Da die Schienen in den Krümmungen mit Graphit geschmiert werden, kann die Reibung zwischen Schiene und Zange nur zu etwa 0,2 angenommen werden.

Die Zangenbremsen können nur als selbsttätige oder Handbremsen zum Feststellen des Zuges, nicht aber als Regulierbremsen bei Wasserlastbahnen verwendet werden. Das Einrücken der die Bremsspindel drehenden Klauenkuppelung geschieht durch Fallgewicht oder Federkraft. Bei der Mendelbahn wurde das Fallgewicht mit einer Feder versehen, um den Niedergang desselben zu beschleunigen.

Bremskühlwasser wird, auch bei Seilbahnen mit Wasserlast, meist in einem besonderen Behälter mitgeführt, und gelangt durch geeignete Röhren, deren durchlöcherte Enden über oder in den Bremsscheiben münden, auf bzw. in letztere. Die Territet-Glion-Drahtseilbahn faßt z. B. 350 l Kühlwasser, welches aber im Winter die Linie oft derart vereist, daß der Betrieb eingestellt werden muß.

Schneepflug. Die Drahtseilbahn Davos-Platz-Schatzalp, die höchstgelegene Seilbahn der Schweiz, deren untere Station neben dem Kurhaus auf 1559 m liegt, während sich die obere neben der Heilanstalt (für Lungenkranke) Schatzalp auf 1873 m befindet, hat Jahresbetrieb und ist deshalb genötigt, die Wagen mit Schneepflügen zu versehen. Der Schnee wird nur nach links gedrückt, da auf der rechten Seite stellenweise hohe Böschungen sind. Trotz starken Schneefalls genügen einige Mann zum Schneeräumen auf der 718 m langen, meist in 47 v. H. Steigung liegenden Bahn.

Heizung und Beleuchtung. Von 71 Wagen (Ende 1904) der schweizerischen Seilbahnen haben 59 (= 83 v. H.) keine Heizung; mit Fußwärmern ausgerüstet 4 (= 5,6 v. H.), mit Ofen- oder Luftheizung 6 (= 8,5 v. H.); mit elektrischer Heizung 2 (= 2,8 v. H.). Die Dolderbahn in Zürich hat Warmwasserheizung. Die Beleuchtung erfolgt meist durch Petroleumlaternen, an einigen Seilbahnen durch Kerzen oder Acetylen. Elektrische Seilbahnen verwenden Glühlampen, welche durch eine kleine Akkumulatorenbatterie gespeist werden. Letztere kann dann auf einer der Stationen mittels Steckkontakt nachgeladen werden. In der Schweiz haben 52 Seilbahnwagen (= 73,2 v. H.) Öl- oder Petroleum- und 19 (= 26,8 v. H.) elektrische Beleuchtung.

Einige der längeren Seilbahnen haben auf jedem Wagen ein Telephon, das mittels des zur Zeichengebung dienenden Stabes an die Kontaktleitung angeschlossen werden kann.

Güterwagen werden nur bei einzelnen Seilbahnen verwendet, bei solchen, welche eine wichtige Verkehrsader bedienen, wie z. B. Lyon-Croix-Rousse, Lyon-Fourvière und Lausanne-Ouchy. Letztere Bahn hatte (Ende 1904) 21 Wagen mit 3,41 bis 6,85 t Eigengewicht und 2,5 bis 10 t Ladegewicht. Die Hauptabmessungen sind:

Länge	5,4	bis	3,0	m
Breite	2,5	„	2,7	„
Wandhöhe	2,05	„	0,25	„
Freie Bodenfläche	13,75	„	8,1	qm
Gesamter Radstand	3,2	„	1,5	m
Länge über Puffer	7,2	„	4,2	„
Inhalt der geschlossenen Wagen			28	cbm.

Jeder Wagen hat eine Bremsbühne. Bei der Gießbachbahn[89]) kam während der Bauzeit ein Güterwagen zur Verwendung, welcher gestattete, die Baumaterialien ohne Seil zu befördern. (Näheres siehe zweites Beispiel.)

Seilhebel und Seilbefestigung. Abb. 314 zeigt die jetzt ausschließlich angewandte Befestigung im Seilhebel, wie sie in Amerika für Hängebrücken in

[89]) Vgl. R. Abt, Seilbahn am Gießbach, S. 41.

Gebrauch steht. (Näheres siehe S. 254). Wenn das sich streckende Seil von Zeit zu Zeit verkürzt werden muß, ist der Seilkopf abzuschneiden und neu zu machen. Um nicht jedesmal einen neuen Kopf machen zu müssen, wurde an der Gütschbahn bei Luzern eine Regelungsschraube (Abb. 315) mit dem Seilende in Verbindung gebracht.

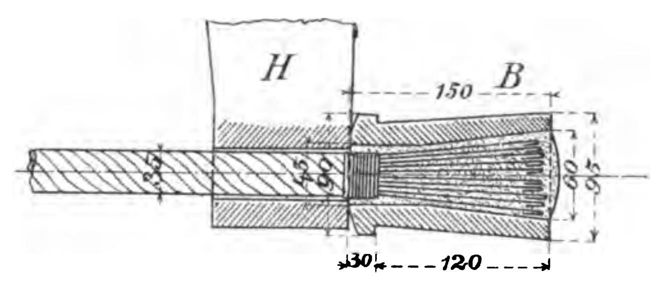


Abb. 314. Seilkopf.

Die Seilbüchse B (Abb. 314) wird zweckmäßig mit Öse und Zapfen am Seilhebel H in wagrechter Lage gehalten; bei neueren Bahnen (Mendelbahn) ist der Seilhebel aus Stahlguß hergestellt.

Einnahmen und Betriebskosten siehe Tabelle am Schluß des Kapitels.

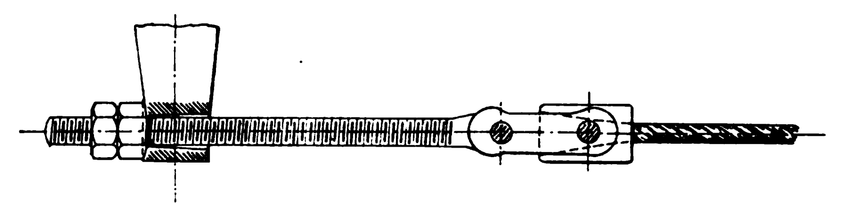


Abb. 315. Seilbefestigung.

Hier sei außerdem noch folgendes bemerkt:

Drahtseilbahn	Länge	Anlagekosten
Lyon-Croix-Rousse	489 m	2 480 000 Mk.
Oten-Königsburg	90 „	377 000 „
San Paulo	7865 „	31 200 000 „
Leopoldsberg	725 „	687 000 „
Galata-Pera	606 „	3 540 000 „
Lyon-Fourvière	822 „	2 960 000 „
Lausanne-Ouchy	1795 „	2 725 000 „
Bürgenstock	940 „	295 000 „
San Salvatore	1644 „	480 000 „
Hâvre	360 „	448 000 „
Lyon-Croix-Paquet	483 „	1 840 000 „
Gießbach	326 „	1 200 000 „
Lugano-Stadt-Bahnhof	244 „	151 000 „

Betriebskosten. Entsprechend der Verschiedenheit der Seilbahnanlagen, ihres Betriebes und der örtlichen Verhältnisse gestalten sich auch die Betriebskosten sehr verschieden. Bei Anwendung von Wassergegengewicht beschränken sich dieselben, abgesehen vom Personal, auf die Unterhaltung von Gleis und Wagen, sowie auf Seilerneuerung. Die Seilbahnen mit Sommerbetrieb gestalten sich ungünstiger als

diejenigen mit Jahresbetrieb, weil bei ersteren das Aktien- und Obligationen-Kapital zwölf Monate verzinst und das Personal meist für das ganze Jahr gelohnt werden muß.

Die Leistungsfähigkeit der Seilbahnen kann trotz ihrer verhältnismäßig geringen Geschwindigkeit ganz bedeutend sein, wie dies beim Verkehr zwischen Stadtteilen der Fall ist. Bei Seilbahnen mit Wassergegengewicht, welche infolge des schweren Wagens und Seiles nur kleine Geschwindigkeit zulassen, wird die Leistungsfähigkeit immer kleiner sein als bei Anlagen mit fester Betriebsmaschine.

§ 26. Vergnügungs-(Touristen-)Bahnen. — Beispiele. Die nachfolgend beschriebenen sechs Seilbahnen unterscheiden sich sowohl im Oberbau, als auch im Antrieb, und zwar hat:

1. Lausanne-Ouchy Turbine und vier Schienenstränge;
2. Gießbach Wasserüberlast und Abt-Ausweiche mit innerem und äußerem Spurkranz, Leiterzahnstange;
3. Bürgenstock elektrischen Antrieb (oben) und Abt-Ausweiche mit doppeltem Spurkranz, Abt's Zahnstange;
4. Territet-Glion Wassergewicht und drei Schienenstränge, Leiterzahnstange;
5. Stanserhorn elektrischen Antrieb (oben), Abt-Ausweiche, Zangenbremse;
6. Rocca-Monreale elektrische Oberleitung, drei Schienen, Bremswagen auf Doppelspur, Zangenbremse.

1. Drahtseilbahn Lausanne-Ouchy. Diese älteste der schweizerischen Seilbahnen (1877) hat den Zweck, eine bequeme Verbindung zwischen dem Hafenort Ouchy am Genfersee und der 102 m höher gelegenen Stadt Lausanne herzustellen. Neben dem Personenverkehr muß die Beförderung der großen Menge vom See ankommender Baumaterialien nach der oberen Station bewältigt werden. Für den gewählten Längenschnitt war die Höhenlage der beiden Zwischenstationen maßgebend. Der theoretische Schnitt wäre auf der ganzen Länge der Bahn höher gelegen als der wirklich ausgeführte, doch mußte unter dem Bahnhof ein Durchgang erreicht werden, weil eine andere Kreuzung nicht möglich ist. Große Nachteile erwachsen dem Betrieb daraus nicht, indem je nach dem Gefällwechsel die Geschwindigkeit der Antriebmaschine geändert wird. Das Gefälle wechselt von 5,8 bis 11,6 v. H.

Unterbau. Die schief gemessene Betriebslänge beträgt 1463 m. Zwei Tunnele, einer zwischen Stadt und Hauptbahnhof, der andere unter letzterem, haben 255 bzw. 112 m Länge. Die Lichtweite des ersten Tunnels, der überdies ein Gleis der Bahn Lausanne-St. Luce aufnimmt, beträgt 9 m. Er ist in 102 einzelnen, halbkreisförmigen Ringen von 2,5 m Länge gewölbt, deren Scheitel je um 0,29 m tiefer liegen, dadurch sichelförmige Sichtflächen bildend. Die Widerlager sind 1,6 m hoch, ihre Stärke beträgt 0,9 m, die Gewölbestärke 0,65 m. Der zweite, schwächer geneigte Tunnel nimmt nur die vier Schienenstränge der Bahn selbst auf. Im weiteren sind sechs Überbrückungen und zwei Unterführungen aus Eisen, von 3 bis 15 m Länge, sowie eine 6 m lange Überführung vorhanden. Das beträchtliche Tagwasser der fast ganz im Einschnitt liegenden Bahn wird durch gemauerte Gräben einem 1,5 m hohen, in den See mündenden Kanal zugeführt.

Oberbau. Mit Ausnahme der Ausweichstelle liegt das Gleis in gerader Linie. Oberhalb der Ausweiche besteht es aus drei Strängen und 129 mm hohen, 33 kg/m schweren Schienen von 6 m Länge. Der mittlere Schienenstrang ist gemeinsam und gabelt sich in der Bahnmitte auf 142,04 m Länge bis zu 1,9 m Entfernung; 52,5 m der Ausweiche liegen in der Geraden. Die Krümmungshalbmesser betragen 400 m.

Das Gleis unterhalb der Ausweiche hat vier Schienenstränge, von denen die inneren noch 0,2 m Abstand haben. Die Spurweite beträgt 1,435 m; Zahnstange ist keine vorhanden. An dem unteren Teile der Ausweiche werden die inneren Schienen vom Seil überschnitten. Die Kronenbreite beträgt im unteren Teil 3,2 m, im oberen 4,5 m, in der Ausweiche 7,2 m. Die Eichenholzschwellen von 2,6 bzw. 3,8 m Länge sind in 0,8 m Entfernung in Schotter gebettet. Das Gewicht des Oberbaues beträgt in der geraden Strecke 180 kg/m.

Seil. Seit der Eröffnung der Bahn ist dasselbe schon zehnmal ausgewechselt worden. Seil Nr. 1 bis 8 bestanden aus sechs Litzen zu 19 Drähten (sieben Seelen- und zwölf Umfangsdrähte), zusammen 114 Drähte, in einer Stärke von 1,95 bis 2 mm. Der Durchmesser wechselte von 30 bis 33 mm. Die Seile waren in Kreuzschlag geflochten und stammten aus den Fabriken von Newall & Co., Stein-Danjoutin und Felten & Guilleaume. Die Metallquerschnittsfläche betrug 3,40 bis 4,34 qcm. Bei einem Gewicht von 3,13 bis 3,43 kg/m war der Sicherheitsgrad 5,3 bis 10,4. Die Bruchfestigkeit ist zu 7,5 bis 17,45 t/qcm bestimmt. Der schwerste, bergwärts fahrende Zug soll 44 t haben. Bei der Seilbahn Lausanne-Gare rosteten die Drahtseile mit Hanfseele in den Tunneln rasch, trotzdem sie mit einem Gemisch von norwegischem Teer, Öl und Kolophonium angestrichen wurden, weshalb Versuche mit Seilen verschlossener Anordnung ohne Hanfseele und entgegengesetzten Windungen, sowie mit flachlitzigen Seilen angestellt wurden.

Die neuen Drahtseile der Bahn Lausanne-Ouchy sind im Albertschlag hergestellt und haben 90 Drähte von 1,5 bis 2,83 mm Durchmesser. Bei Seil Nr. 5 z. B. betrug die absolute Festigkeit 50 t, bzw. 14 t/qcm. Die erprobte Festigkeit des außer Betrieb gesetzten Seiles 46,5 t, bzw. 15 t/qcm bei einer Dehnung von 1,37 v. H. Dabei hatte sich der Metallquerschnitt von 3,58 auf 2,95 qcm, das Seilgewicht von 3,215 auf 3,12 kg/m verringert.

Die Seilbefestigung erfolgt in der Mitte des Wagens und kann sich das Seil beim Abwickeln von der Trommel frei drehen, da es mittels eines im Deckel der kegelförmigen Büchse drehbaren Zapfens am Zughaken hängt (Abb. 316). Eine Kette hält die Drahtseilhülse so hoch, daß sie weder an Rollen, noch sonst irgendwo anschlägt.

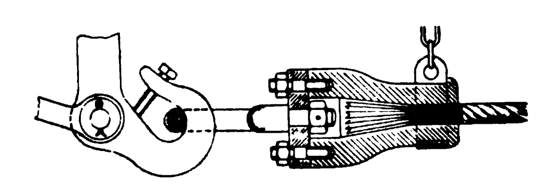


Abb. 316. Seilbefestigung.

Seilumleitung. Bei den beträchtlichen Gewichts- und Gefällsunterschieden würde bei Umleitung des Seiles um eine einzige Rolle die Reibung nicht genügt haben, um ein Gleiten zu vermeiden. Das Seil ist $4^3/_4$ mal über eine Trommel von 6 m Durchmesser geschlungen. Die dreiteilige, 3,8 m lange Trommel besitzt einen Hagenbuchholzmantel mit Rillen von 40 mm Entfernung. Zwei Ablenkrollen von 3 m Durchmesser, mit lederbesetzter Rille, stehen in einem Abstand von vier Rillenbreiten (160 mm), drehen sich entgegengesetzt und werden durch Zahnräder und Schrauben, der Seilabwicklung entsprechend, vor der Trommel verschoben. Die gleichen Schrauben verschieben auch einen Zeiger, welcher die Wagenstellung erkennen läßt und dadurch eine Regelung der Bremsen gestattet.

Tragrollen. Im unteren Teile der Bahn sind dieselben 400 mm breit, da

das Seil in der Mitte des Gleises läuft und abwechselnd das eine und andere Seiltrum die Rollen benutzt. Weiter oben sind getrennte Rollen aus Gußeisen, die zwischen den Schwellen auf Eisentragrahmen ruhen. Der Rillendurchmesser beträgt 300 mm. Zu Anfang der neunziger Jahre wurden die Rollen mit Kautschuk belegt, um die Seilabnutzung zu verringern. Die äußere Breite der oberen Rollen beträgt 180 mm, die Rollenentfernung je nach Standort und Gefälle 9 bis 15 m, in den Krümmungen 10 m. Bei letzteren kommen auch gußeiserne, senkrechte Zylinder von 400 mm Höhe bei 250 mm Durchmesser zur Verwendung, um das Anlegen des Seiles an die Rollen zu sichern.

Antriebsmaschine. Da zum Betrieb mit Ballastwasser (Wasserübergewicht) viel zu große Wasserkasten erforderlich gewesen wären, was die Anbringung der Bremsen erschwert hätte, wurde eine feste Maschine aufgestellt. Die Bahngesellschaft hat es mit der Einrichtung ihrer Anlage übernommen, ein Wasserwerk zu bauen, das die Stadt mit Trink- und Brauchwasser, die Kleinindustrie mit Betriebswasser versorgt. Dem See von Brenet entnommen, wird das Wasser der Turbine mit 180 m Gefälle zugeleitet. Die 14 km lange Leitung leistet 9000 Liter in der Minute. Eine doppelt wirkende Girardturbine auf wagrechter Achse, mit 2,25 m äußerem Durchmesser und zwei mit entgegengesetzt gerichteten Radkanälen für Vor- und Rückwärtsbewegung versehenen Kränzen, wird durch eine Wassersäule von 400 mm Stärke und 142,5 m Höhe betrieben. Eine Zahnradübersetzung gibt der Seiltrommel 79 Umdrehungen, wenn die Turbine 230 macht. Für den schwersten Verkehr reichen 200 PS. mit einem Wasserverbrauch von 4000 Liter in der Minute aus.

Hochbauten. Größere Bahnhofbauten sind nur an der oberen Station ausgeführt. Im Anschluß an den dort beginnenden, 9 m breiten Tunnel ist eine offene Halle bis zu den rechts und links von den Gleisen, am Ende der Betriebsstrecke erstellten Bahnhof- und Verwaltungsgebäuden erbaut. An den Zwischenstationen, sowie an der unteren Endstation sind einfache Holzbauten ausgeführt.

Wagen. Es sind drei Arten von Wagen im Betrieb, und zwar zunächst bei jedem Zug am unteren Ende ein Bremswagen, welcher zur Hälfte für Personen (20 Plätze in zwei Abteilen) und zur Hälfte für Gepäck bestimmt ist. Die 2,8 m breiten Wagen haben bei 3,2 m Radstand zwei Achsen und sind geschlossen gebaut. Auf der oberen Endbühne (am Gepäckabteil) steht der Bremser, welcher eine Spindel- und eine Schlittenbremse bedient. Die außer dem Bremswagen im Zug verwendeten Personen- und Güterwagen von 40 Sitzplätzen I. und II. Klasse, bzw. 7500 kg Tragfähigkeit haben keine Schlittenbremse, sondern nur je eine Spindelbremse, welche indessen mit Bremsbacken auf die Räder wirken. Ein Bremser kann zwei Plattformen bedienen.

Die maschinelle Anlage hat, ausschließlich einer inzwischen, weil überflüssig, wieder beseitigten Hilfsdampfmaschine 76000 Mk. gekostet. Die Turbine ist in Paris gebaut, die mechanische Einrichtung von der Maschinenfabrik von Bell & Cie. in Kriens bei Luzern geliefert worden.

An Personal sind 20 Beamte und Angestellte vorhanden. Die Fahrtaxen für Berg-, Tal-, sowie Hin- und Rückfahrt betragen bzw. Mk. 0,20; 0,20 und 0,32 in der zweiten, das Doppelte in der ersten Klasse.

2. Gießbachbahn. Seit dem Hochsommer 1879 befindet sich im Berneroberland (Schweiz) eine kleine Vergnügungsbahn im Betrieb, welche von Natur und Technik in gleich hervorragender Weise bedacht wurde. Die dort zur Ausführung

gelangte Bauart vereinigt zum erstenmal die Vorzüge einer Seilbahn mit der Sicherheit der Zahnstangenbahn und zeichnet sich überdies durch geringe Anlagekosten aus. Es bewegen sich im Betriebe stets ein Wagen aufwärts, der andere abwärts, beide an einem auf dem höchsten Punkte der Bahn um eine Rolle geschlungenen Drahtseil befestigt. Als Triebkraft dient entweder das Gewicht der oben eingestiegenen Personen, oder das dort gefaßte Wasser. Die auf der ganzen Länge der Strecke verlegte Zahnstange gestattet mittels Bremszahnrad die Fahrgeschwindigkeit zu regeln. Mit Ausnahme einer in der Mitte der Bahn gelegenen, selbstwirkenden Ausweichstelle von 50 m Länge ist die Anlage eingleisig.

Im Sommer 1878 entschloß sich der Besitzer der Gasthöfe am Gießbach, diese Verbindungsbahn zwischen dem Dampfschiffsteg am Brienzersee und seinen 100 m höher gelegenen Gebäuden herzustellen. Die damalige Maschinenfabrik Aarau (Direktor N. Riggenbach, Konstrukteur Roman Abt) erhielt auf Grund ihrer Pläne die Ausführung des ganzen Baues. Im Oktober 1878 wurden die Bauten an Ort und Stelle begonnen und am 19. Juli 1879, nach vorangegangener Prüfung durch die schweizerischen Behörden, dem Betriebe übergeben.

Bau. Anlage. Mit Ausnahme der beiden Endstücke hat die 346 m lange Bahn eine gleichmäßige Steigung von 280 v. T. Um das Ingangsetzen und Anhalten der Züge zu erleichtern, wurde, unter Zuhilfenahme einer Übergangskrümmung, das obere Ende mit 320 v. T., das untere mit 240 v. T. angelegt. Die Bahnachse bildet eine Gerade. Die beiden in der Mitte angebrachten Ausweichgleise sind symmetrisch dazu angeordnet und hatten bis 1891 einen Abstand von 2,666 m bei Krümmungen von 75 m Halbmesser. Jetzt hat die Ausweiche 120 m Halbmesser. Am unteren Ende der Bahn ist ein kleines Zweiggleis mit 50 m Halbmesser zur Aufnahme des Güterwagens und der zur Aushilfe dienenden Fahrzeuge. Die Spurweite beträgt 1 m.

Unterbau. In ihrem unteren Teile hat die Bahn einen Einschnitt von 1 m größter Tiefe, sowie einen 30 m langen Damm von 6 m größter Höhe. Die Schlucht des Gießbaches wird mittels fünf, auf Steinpfeilern von 9 bis 13 m Höhe ruhenden, eisernen Bogenbrücken von je 38 m Länge übersetzt. Die Züge kreuzen auf der untersten Öffnung, welche durch drei Träger überdeckt wird. Die Querverbindungen des Streckbaumes, Zoreseisen von 120 mm Höhe und 15,5 kg Gewicht, bilden gleichzeitig die Schwellen zur Oberbaubefestigung und tragen auf der einen Seite der Bahn einen 600 mm breiten Fußsteg mit leichtem Geländer.

Oberbau. Da die Züge am nämlichen Seile befestigt sind, kreuzen sie stets auf derselben Stelle der Bahn. Hier muß dieselbe unvermeidlich doppelgleisig, auf dem übrigen Teile kann sie eingleisig angelegt sein. Das sichere, selbsttätige Ausweichen war hier zum erstenmal nach Ingenieur Roman Abt's Patent eingerichtet worden (Abb. 263) unter Anwendung von inneren und äußeren Spurkränzen. Ober- und unterhalb der Brücke war der Oberbau auf eichenen Schwellen befestigt. Die breitfüßigen Schienen von 87 mm Höhe und 17 kg/m Gewicht waren auf die Holzschwellen genagelt, auf die Zoreseisen unter Benutzung gußeiserner Plättchen geschraubt. Im Jahre 1891 wurden neue Schienen verlegt, und die Ausweiche den neuen Wagen mit Rädern mit Doppelspurkranz und Flachrollen angepaßt.

Die Zahnstange besteht aus zwei ⊔ Eisen von 100 mm Höhe als Stege, und dazwischen gesteckten, trapezförmigen Zähnen mit 100 mm Teilung. Das Gewicht der 3 m langen Zahnstangenstücke beträgt 96 kg, somit 32 kg/m. Die Enden zweier Stücke sind auf 10 mm dicke Bleche und diese selbst auf ihre Unterlage geschraubt.

Zwischen den Stößen wird die Zahnstange noch an zwei Stellen festgehalten. Auf den Holzschwellen sind außerhalb der Schienen Langschwellen aus ⊔ Eisen angebracht; außerdem ist dem Wandern des Oberbaues durch eine Anzahl Mauersätze (Mauerwerk oder Betonguß) vorgebeugt.

Hochbau. Das Aufnahmsgebäude am Landungssteg der Dampfschiffe ist einstöckig, 30 m lang, 15 m tief, im Stile der Gegend gefällig aus Holz gebaut, aber mit Ziegeln gedeckt. Auf der Bahnseite beanspruchen die Wartehallen I. und II. Klasse beinahe die Hälfte des Gebäudes, in dessen Mitte das Kassenzimmer mit Fahrkartenausgabe, daneben ein Raum für unten verbleibendes Gepäck sich befinden. Die andere Gebäudehälfte enthält den Warteraum III. Klasse nebst kleiner Wirtschaft mit Küche und Speiseraum. Über diesen letzteren sind die Schlafräume für den Wächter und den Lagerverwalter. Ein gedeckter Gang führt vom Aufnahmsgebäude zu der leichten, schindelbedeckten Halle am unteren Bahnende.

Betrieb. Verkehr. Die Züge der ersten Anlage bestanden aus je einem Personenwagen mit fünf Abteilen zu acht Sitzplätzen und einem Gepäckraum.

Wagengewicht	5300 kg
40 Personen zu 75 kg	3000 „
Gepäck	500 „
Gesamtes Zuggewicht	8800 kg.

Dazu kommen noch 700 kg vom Drahtseil, das zu heben ist, so daß die größte aufwärts zu bewegende Last 9500 kg betrug. Zur Beförderung derselben war ein Gewicht von 10 800 kg notwendig, das sich bei leerem, oberem Wagen aus dem Wagengewicht und 5500 kg Wasserballast zusammensetzte. Zur Überwindung sämtlicher Reibungswiderstände war somit ein Übergewicht des treibenden Wagens von 1300 kg erforderlich. Die neuen Wagen haben bei 6,2 m Radstand ein Eigengewicht von 6500 kg. Sie fassen 40 Personen und haben eine Bruttolast von 12 850 kg.

Die Fahrgeschwindigkeit beträgt 1 m/sek., die Fahrzeit sechs Minuten. Die Züge können sich in Zwischenräumen von zehn Minuten folgen, da vier Minuten zum Wasserfassen usw. gerechnet werden müssen.

Betriebsmittel. Der ganze Wagenpark besteht aus einem Güterwagen und zwei Personenwagen. Ersterer ist mit starkem Zahngetriebe und Handkurbeln versehen, wird ohne Seil durch vier Mann bewegt und befördert 3000 bis 3500 kg mit 50 m/Std., einschließlich der Ruhepausen, bergwärts. Abwärts kann jede beliebige Schnelligkeit gegeben werden. Während des Baues leistete dieser Wagen vorzügliche Dienste. Die offenen Personenwagen haben Seiteneingänge und besitzen in jeder Abteilung zwei einander gegenüberstehende Sitzbänke, welche auf gleicher Höhe sind. Die einzelnen Abteilungen sind stufenförmig gebaut, während Dach und Wasserkasten unter den Sitzen der Bahnrichtung gleichlaufen. Der Wasserkasten faßt 6,5 cbm. Bei den alten Wagen waren sechs Laufräder, von denen die vier hinteren ein Drehgestell bildeten. Die vorderen Räder stecken auf einer festen Achse, welche das Zahnrad mit Bremsscheiben trägt. Der Führer befindet sich stets auf der oberen Seite des Wagens, faßt von dort Wasser und regelt die Zuggeschwindigkeit.

Bei gewöhnlichem Betrieb werden mittels Spindel und Hebelübersetzung zwei Bremsklötze auf die geriffelte Stahlgußbremsrolle gepreßt. Die zweite Bremsrolle hat ähnliche Klotzanordnung, die aber erst bei Seilbruch durch einen Hebel mit Gewicht in Tätigkeit gesetzt wird.

Mechanische Einrichtung. Das erste Drahtseil aus englischem Tiegelgußstahl hatte 23 mm Durchmesser, bestand aus einer Hanfseele und fünf Litzen von je 14 zwei Millimeter starken Drähten. Seine Bruchbelastung betrug 23,5 t, bzw. 10,7 t/qcm. Nach etwa 16 000 km Fahrt wurde das Seil ausgewechselt und zeigte bei der Probe 24,6 t Bruchfestigkeit, bzw. 11,25 t/qcm. Das zweite, seit Juni 1894 in Betrieb befindliche Drahtseil verschlossener Bauart besteht aus 66 in vier Lagen gewundenen Drähten und hat bei 22 mm Durchmesser 3,23 qcm Querschnitt und 2,7 kg/m Gewicht. Die erprobte Festigkeit beträgt 33,375 t bzw. 10,3 t/qcm.

Das Seil ist nur einmal um die große gußeiserne Rolle ($d = 3$ m) geschlungen und läuft in einem Kranze von Nußbaumholz, der in Stücken von 300 mm Länge aufgeschraubt ist. Im geraden Teile der Bahn wird das Seil in Entfernungen von 14 bis 16 m von kleinen, gußeisernen Rollen ($d = 240$ mm) mit 80 mm hohen Rändern getragen. In der Kreuzung sind schräg gestellte Rollen eingelegt, was eine einfachere und billigere Anordnung ergibt als stehende und liegende Rollen. Das aus der Gasthofwasserleitung bezogene Wasser steht unter einem Drucke von über 100 m, weshalb es zuvor in einen Behälter und von dort erst durch Rohr und Schieber von 200 mm lichter Weite in die Wagenwasserkasten gelangt. Die Entleerung der Kasten ist selbsttätig, indem die Tellerventilspindel unten auf ein Γ Eisen aufläuft und dadurch das Ventil hebt, um dem Wasser Abfluß zu gestatten. Ein Läutewerk auf jedem Endbahnhof dient zur Verständigung der beiden Wagenführer über das zu fassende Wasser, Abfahrt usw.

Kosten. Die Baukosten betrugen nicht ganz 120 000 Mk. Hiervon entfallen auf die Anlage des neuen Landungsplatzes 15 000 M., auf Unterbau und Hochbau 45 000 Mk., auf Eisenwerk, Betriebsmittel und mechanische Einrichtung 60 000 Mk.

Die Fahrtaxen betragen 80 Pfennige für Hin- und Rückfahrt (einfache Fahrkarten werden nicht ausgegeben), 20 Pfennige für kleineres, 40 Pfennige für größeres Gepäck nach jeder Richtung.

Die größte während eines Tages bei gewöhnlichem Betrieb beförderte Personenzahl betrug 800. Zur Besorgung des Betriebsdienstes sind zwei Führer, eine Fahrkartenausgeberin und zwei Gepäckschaffner notwendig. Die gesamten Betriebsausgaben belaufen sich im Jahr auf rund 3000 Mk. Die Bahn, nach jeder Richtung wohl gelungen, diente, die seither verbesserte Ausweiche ausgenommen, allen späteren derartigen Anlagen als Vorbild.

3. Drahtseilbahn auf den Bürgenstock[90]). Die Bürgenstockbahn wurde am 17. Juli 1888 dem öffentlichen Verkehr übergeben und verbindet die Dampfschifflände Kehrsiten am Vierwaldstättersee mit den etwa 440 m höher (1134 m ü. M.) auf dem Stock liegenden Gasthöfen. Vorstudien und Entwurf für den Unterbau besorgte Ingenieur Leu in Luzern, die gesamte mechanische Anordnung mit den verschiedenen neuen Einzelheiten lieferte Ingenieur Roman Abt in Luzern. Oberbau, Wagen, mechanische Einrichtung und Turbinenanlage waren an das Haus Theodor Bell & Cie. in Kriens bei Luzern vergeben. Die Bauausführung hatten die Herren Bucher und Durrer unter Leitung des Herrn Abt selbst übernommen.

Der Längenschnitt der Bahn nähert sich dem theoretischen. Die Seilbahn ist die erste ihrer Art, indem sie bedeutende Krümmungen in und außerhalb der Aus-

---

[90]) Vgl. Schweiz. Bauztg. 1888, Bd. XII, S. 49 u. f., sowie Engineering 1895, S. 140 u. f.



weiche aufweist, die aber trotz der gehegten Bedenken sicher durchfahren werden. Abb. 317 gibt die Gleisanlage in den Hauptteilen.

Die wagrechte Bahnlänge beträgt 827 m, in der Steigung gemessen 936 m. Mit 320 v. T. beginnend geht der parabelförmig ausgerundete Längenschnitt nach etwa 400 m in die Größtsteigung von 577 v. T. über. Die einspurige Anlage hat in der Mitte in scharfer Krümmung von 140 m Halbmesser und 200 m Länge eine Abt'sche Ausweiche.

Unterbau. Die Kronenbreite des ganz gemauerten Bahnkörpers beträgt 1,5 m, in der Ausweiche bis 4,5 m. Im unteren Teile ist ein 4 m tiefer, an der Sohle 3 m weiter einfüßiger Einschnitt mit 0,75 m breitem Graben. Außer den massigen Unter-

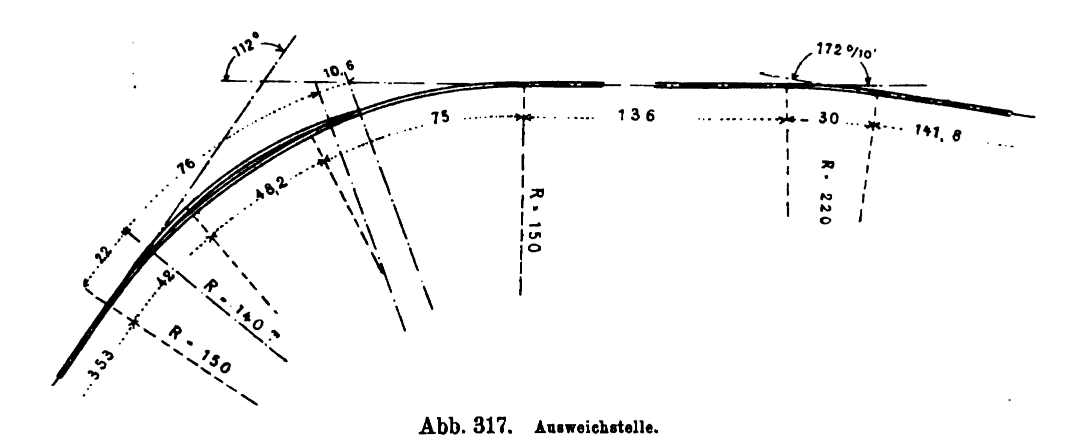


Abb. 317. Ausweichstelle.

mauerungen, den starken Futtermauern in den Erdeinschnitten, sowie den hohen Stützmauern hat die Bahn noch eine gewölbte Überfahrt von 2,5 m Breite und einen gewölbten Durchgang von 2 m Weite. In den Felseinschnitten hat der Mauerkörper nur 0,5 bis 0,4 m Stärke.

Oberbau. Die Spur beträgt 1 m. Das einspurige Gleis hat in der Mitte eine 108,6 m lange selbsttätige Ausweiche Abt'scher Bauart, welche hier zum erstenmal in der Krümmung zur Ausführung gelangte. Die Krümmungshalbmesser wechseln von 120 bis 220 m. Die hier zum erstenmal als Schwellen verwendeten ⌈Eisen von 120/80/10 mm sind mit 960 mm Abstand verlegt und lehnen sich mit ihrer Schmalseite gegen das Mauerwerk, mit welchem einzelne Schwellen doppelt verankert sind. An den Schwellenköpfen angenietete ⌊Eisen verhindern seitliche Verschiebungen. Die 115 mm hohen Schienen wiegen 22,5 kg/m. Hakenschrauben, Unterlags- und Klemmplatten bilden die Verbindung. Die Hälfte der Schwellen ist gegen Wandern des Gleises einmal unmittelbar durch zwei Schrauben mit der Schiene verbunden. An der Ausweichstelle sind etwas stärkere Unterlagsplatten gewählt, damit das spurkranzlose Rad über die 120 mm hohe Zahnschiene wegrollen kann. Zwei mit Rändern versehene Flacheisen mit vier Bolzen bilden die Verlaschung. Das Gewicht des Oberbaues mit Zahnstange beträgt 96 kg/m.

Die zweiteilige Abt'sche Zahnstange ist an ⌊Eisen von $\frac{90 \times 85}{18}$ mm befestigt; zwischen den Zahnlamellen ist ein Raum von 28 mm Weite zur Aufnahme der Wagenanker (Abb. 318 und 319), welche aus 300 mm langen Stahlplatten mit unter die La-

mellen greifender Verdickung bestehen (D. R. P. Nr. 91768). Die Zahnschienen haben 2878 mm Länge bei 85 mm Höhe und 20 mm Dicke und erhalten an den Enden je 2 mm Spielraum für Ausdehnung. Die Stöße der Zahnstangenlamellen unter sich, sowie gegenüber den Schienenstößen sind versetzt angeordnet.

Hochbau. Am oberen Ende erforderte die Unterbringung der elektrischen Anlage und der Umleitungsrollen die Einrichtung eines Maschinenhauses. Daneben befindet sich ein Kassenraum. Am unteren Bahnende ist ein kleines Gebäude in Fachwerk errichtet mit Kasse, Geräte- und Wirtschaftsraum.

Betrieb. Wagen. Die Wagen ruhen auf vier Rädern, von denen jedes für sich gelagert ist. Bei 3 m Radstand haben sie 6 m Länge, 1,6 m Breite und fassen in vier Abteilen, wovon zwei I. Klasse zu sechs Plätzen, zwei II. Klasse zu acht Plätzen, 32 bis 40 Personen. Das Leergewicht beträgt 4,0 t, somit 120 kg auf den Platz. Jeder Wagen ist mit zwei beweglichen Ankern versehen, welche ein Aufsteigen der Zahnräder verhindern und das Entgleisen unmöglich machen.

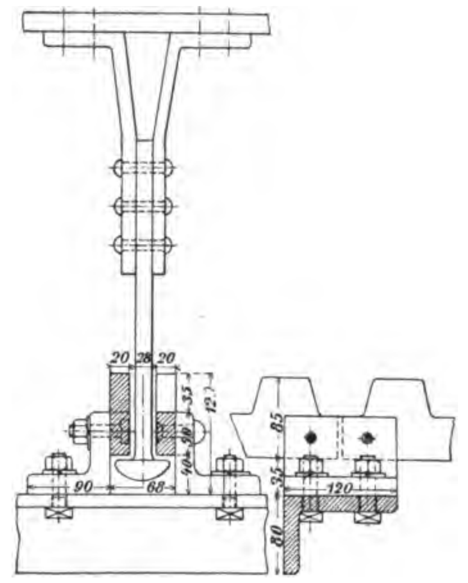


Abb. 318, 319. Anker und Zahnstange.

Das Eigengewicht des Wagens ist . .	4000 kg
das Personengewicht	2000 „
Gesamtgewicht des beladenen Wagens	6000 kg

und darnach die größte vorkommende Tangentialkraft 3200 kg. Die seitlich über Armhöhe offenen Wagen werden durch Schiebetüren geschlossen. An jedem Wagenende befindet sich eine Bühne für den Wagenführer. Bei Seilbruch wird das obere Zahnrad durch Fallgewicht und Bremsband selbsttätig gebremst. Die Handbremse wirkt auf die untere Achse, welche in Abb. 320 dargestellt ist. Vom Wagen aus können mit Hilfe eines Stabes an einem längs der Linie gespannten Drahte Zeichen gegeben werden. Die Ankunft der Wagen in der Weiche und im Bahnhof wird dem Maschinenführer durch Glockenzeichen mitgeteilt.

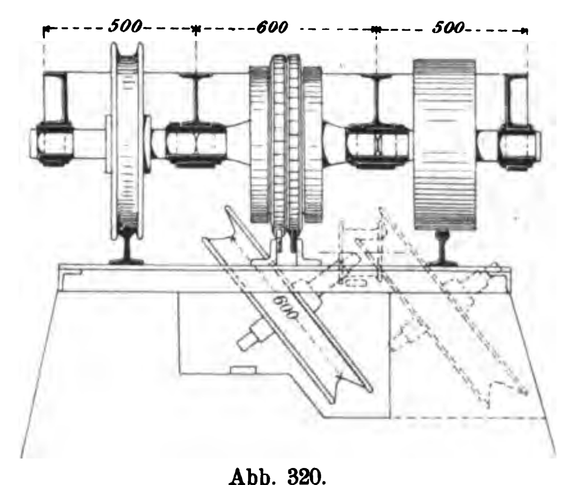


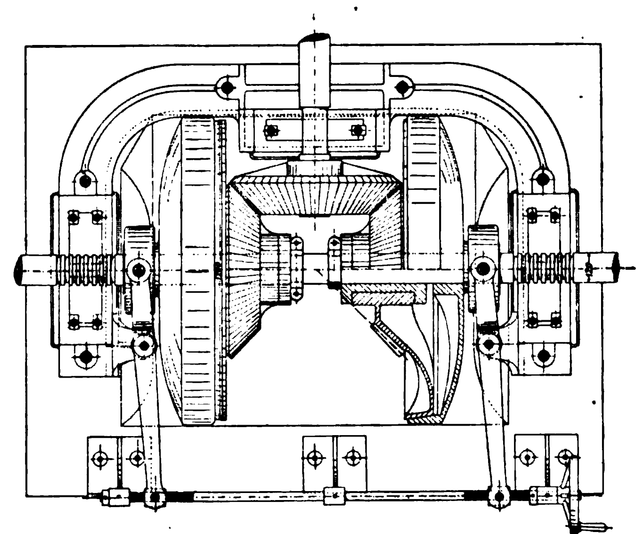
Abb. 320.
Oberbau mit Laufrädern und Bremszahnrad.

Mechanische Einrichtung. Drahtseil. Seit Mai 1903 ist das dritte Seil eingezogen. Die zwei ersten Seile sind im Kreuzschlag, das dritte im Albertschlag

hergestellt worden. Der Durchmesser beträgt 30 bzw. 33,1 mm, wobei sechs Litzen zu 19 bzw. 17 Drähten von 1,8 bis 2,3 mm Durchmesser verwendet wurden. Das Seil hat eine Hanfseele. Bei 3,0 bis 3,34 kg/m Gewicht beträgt die Bruchfestigkeit 43,5 bis 53,91 t, bzw. 15 t/qcm.

Die Seilgeschwindigkeit ist zu 1,13 m/sek. festgesetzt. Die Seilumleitung auf der oberen Station beträgt etwas mehr als 3π. Beim Anfahren von den Stationen erleidet das Seil die größte Beanspruchung, wobei es mit dem aufwärts fahrenden Wagen, der Seilgewichtsteilkraft auf mittlerer Steigung, den Rollenwiderständen und mit 5 v. H. für das Anfahren gleich 5010 kg belastet ist.

Rollen. In der Geraden wird das Seil in Entfernungen von 15 m durch Rollen von 160 mm Durchmesser getragen, in den Krümmungen durch solche von 600 mm Durchmesser mit 11 m Abstand. Die obere (Antriebs-)Station enthält zwei Gleichstromdynamomaschinen von je 25 PS. und eine mit denselben zu kuppelnde 20pferdige (15 Kilowatt) Dynamomaschine für die elektrische Beleuchtung der Gasthöfe. Eine 15 PS.-Pumpe, welche das Quellwasser von halber Höhe des Berges zu den Gasthöfen fördert, wird, wie die Beleuchtungsmaschine, eingeschaltet, sobald die Bahn in Ruhe ist. Die Kraftstation liegt in einer Entfernung von 4 km in der Nähe von Buochs. Die Starkstromleitung von 1600 Volt ist nach dem Dreileitersystem (4,5 mm-Drähte) angelegt, so daß, wenn nur eine Maschine läuft, die beiden anderen Leitungen nebeneinander geschaltet sind. Die den atmosphärischen Entladungen sehr ausgesetzte Leitung hat Blitzschutzvorrichtungen, Bauart Thury, und selbsttätige Ausschalter. Die Motoren und Generatoren (sechspolig nach Thury's Bauart) wurden von der Genfer Elektrizitätsgesellschaft geliefert. Die Generatoren leisten bei 800 Umdrehungen 25 A. bei 2×800 V (60 PS.). Die Motoren, in Reihe geschaltet, leisten bei 700 Umdrehungen 2×700 V (44 PS.), also 73 v. H. der Primärmaschinen. Die größte notwendige Zugkraft ist 37 PS. Riemen und Zahngetriebe übertragen die Kraft auf die Hauptseilscheibe, welche in der Mitte gezähnt, zu beiden Seiten aber mit Seilrillen versehen ist. Sie hat 4 m Durchmesser, die Gegenrolle, sowie die schief gestellten Führungsrollen haben 3 m. Ein Anlaßwiderstand von 20 Ohm leitet die Bewegung des Motors ein. Vor- und Rückwärtsbewegung geschieht nicht durch Stromumschaltung, sondern durch Aus- und Einrücken des in Abb. 321 dargestellten, dreifachen Kegelrädergetriebes. Eine Reibungskuppelung gestattet, die Motorwelle mit der Lichtdynamomaschine in Verbindung zu bringen.


Abb. 321. Zahnradgetriebe zum Umschalten.

Die Kosten für 1 km setzen sich zusammen aus:



Erdarbeiten, Gebäude und Oberbau . . .	304 000 Mk.
Seil, Motoren, Wagen	16 000 „
Ausrüstung, Werkzeuge und Verschiedenes	1 600 „
Zusammen	321 600 Mk.

Das Personal besteht aus

2 Stationsbeamten (Einnehmern),
2 Wagenführern,
2 Bahnwärtern,
1 Maschinenführer (in der oberen Station),
1 Streckenarbeiter,

Zusammen 8 Mann.

Fahrpreise.

	Bergfahrt	Talfahrt	Hin- und Rückfahrt
I. Klasse	Mk. 1,2	Mk. 0,8	Mk. 2,0
II. „	„ 0,8	„ 0,4	„ 1,2

Einnahmen und Ausgaben im Jahre 1892. Die Einnahmen sind stetig zunehmend und bewegen sich zwischen 30 000 und 40 000 Mk. bei einer Ausgabesumme von 10 000 bis 20 000 Mk.

Für das Wagenkilometer belaufen sich die

	Einnahmen auf	560 Mk.
	Ausgaben „	200 „
somit	Reingewinn	360 Mk.

§ 27. Vergnügungs-(Touristen-)Bahnen. Beispiele. Fortsetzung. — 4. Drahtseilbahn Territet-Glion. Die Bahn beginnt in der Nähe der Bahn-, Dampfschiff- und Straßenbahnstation Montreux am Genfersee und endigt auf dem etwa 300 m höher gelegenen Luftkurort Glion. Die Länge und starke Steigung der bisherigen Verbindungsstraße ließ eine Bahn angezeigt erscheinen, zumal da sie im Sommer gleichsam das untere Stück der Abt'schen Zahnradbahn nach dem Rocher de Naye bildet. Sie ist die interessanteste aller Seilbahnen mit Wasserübergewicht, sowohl in bezug auf die große Steigung, als auch auf ihre bedeutende Länge. Sieben die Bahn kreuzende Wege, welche teils über-, teils unterführt sind, bedingten den jetzigen Längenschnitt, namentlich deshalb, weil eine Drahtseilbahn zur damaligen Zeit keine Straßenkreuzung auf Schienenhöhe gestattete.

Die im Jahre 1883 eröffnete Seilbahn hat eine schiefe Länge von 674,33 m bei 298,30 m Höhenunterschied der Endpunkte. Die mit Ausnahme der Ausweichstelle geradlinige Bahn weist Krümmungen von 500 und 1000 m auf. Um bei der steilen Anlage dem Wandern des Oberbaues wirksam vorzubeugen, sind die Schwellen auf zwei gleichlaufenden Treppen verlegt, welche bei 1,9 m Achsenabstand 500 mm Dicke haben und aus Granit und Kalksteinblöcken gemauert sind. Eine aus 830 mm breiten Steinplatten bestehende Diensttreppe füllt den Zwischenraum der beiden Mauern aus. Die Spurweite beträgt 1 m. Die inneren Schienen der beiden getrennt angeordneten Gleise sind durch gemeinsame Klemmplatten befestigt. Die Schienen von 83 mm Höhe, 45 mm Kopfbreite, 77 mm Fußbreite, 10,5 mm Stegdicke und 17,5 kg/m Gewicht haben 9 m Länge. Die Schwellen von 2,5 m Länge ruhen im oberen Teile in freistehenden Sätteln, wobei sie je 50 mm über das Mauerwerk vorstehen; im unteren, umgebauten Teile der Bahn sind sie auf ihre ganze Länge im

Bahnkörper vermauert. Als Schwellen wurden alte Stahlschienen von 130 mm Höhe, 60 mm Kopf- und 100 mm Fußbreite verwendet, deren Widerstandsmoment bei 16 mm Stegdicke und 36,8 kg/m Gewicht 140000 mm³ beträgt. Sie liegen in 1 m Abstand und lagern in der geraden Strecke in zwei, in der Ausweiche in drei entsprechend geformten, gußeisernen Sätteln (Abb. 322), welche die Schiene durch eine 21 mm starke Schraube festhalten. Der 7 kg wiegende Sattel ist durch Steg, Steinschraube und Spencemetallverguß in seiner Lage auf dem Granitquader gesichert. Die Schienen stützen sich mit an den Fuß genieteten Plättchen gegen die Schwellen, wodurch eine Längsverschiebung verhindert und die Schrauben entlastet werden. Die Laschung geschieht in gewöhnlicher Weise auf den Schwellen.

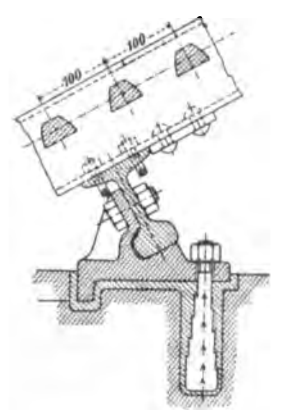


Abb. 322. Sattel.

Zwei 120 mm voneinander entfernte ⊏ Eisen (120/60/12 mm) bilden die Wangen der Leiterzahnstange. Die trapezförmigen (29/47/32 mm) Zähne sind in Entfernungen von 100 mm in oben und unten geradlinig begrenzte Löcher (um ein Drehen zu verhindern) kalt eingenietet. Die Zahnstange wiegt 48 kg/m. Die fertige Zahnstange wurde für die Krümmungen kalt gebogen und ist mit schwebendem Stoß in Stücken von 3 m Länge verlegt. Zwei ∟ Eisen (60/60/10) sind mit den unteren Flanschen der ⊏ Eisen je sechsfach, mit 3 mm Spielraum am unteren Zahnleiterende, verschraubt. Jedes Wangeneisen ist durch zwei 15 mm Schrauben auf die Schwellen befestigt. An die Zahnstange aufgenietete Plättchen entlasten diese Schrauben. Zum Schutz gegen Rost wurden die erwärmten Stücke in Steinkohlenteer getaucht. Der Gesamtoberbau wiegt 217 kg/m.

Die geraden Seilrollen haben 240 mm Rillendurchmesser und sind in 15 m Abstand eingebaut. Zum Schutz des Seiles ist die Rille mit einer Metallmischung ausgegossen, welche aus 80 Gewichtsteilen Zinn, 10 Gewichtsteilen Kupfer und 10 Gewichtsteilen Antimon besteht. Das Rollengewicht beträgt 21 kg. Zwei Flacheisen von 70 mm Breite und 200 mm Entfernung sind mit den Schwellen vernietet und nehmen die Rollenlager auf, welche durch Einbiegen der Flacheisen auf die Höhe der Schienenunterkante zu liegen kommen. Die schiefen Rollen sind in Abständen von 9 bis 12 m eingebaut und haben 360 mm Rillendurchmesser.

Die zweiteilige, mit Holz gefütterte Umleitungsrolle der oberen Station hat 3,6 m Durchmesser und wiegt ohne Achse 2120 kg. Um die 1,74 m voneinander entfernten Seile auf 3,6 m Entfernung zu bringen, laufen dieselben über zwei ebenfalls mit Holz gefütterte Ablenkungsrollen von 950 mm Durchmesser, wobei sie beiderseits eine wagrechte Ablenkung von 9° erfahren, während die Rollenebenen im oberen Gefälle von 57 v. H. liegen, wodurch eine lotrechte Ablenkung vermieden wird. Das Holzfutter der Umlenkungsrolle wird etwa alle zwei Jahre, dasjenige der Ablenkungsrollen alle sieben Monate erneuert. Die jährliche Abnutzung beträgt 21, bezw. 72 mm.

Die zwei ersten Seile waren in Kreuzschlag, das dritte ist in Albertschlag hergestellt. Der Durchmesser des jetzt im Betrieb befindlichen Seiles beträgt 34,7 mm. Es besteht aus 6 Litzen zu 7 + 9 Drähten von 2,66 bezw. 1,93 mm Durchmesser. Der Metallquerschnitt ist zu 4,219 qcm berechnet, das Gewicht zu 3;9 kg/m. Bei 62,12 t Bruchfestigkeit (14,7 t/qcm) beträgt der Sicherheitsgrad 8,64.

Die mit Seil Nr. 2 angestellten Versuche ergaben für das neue Seil 35 mm Durchmesser, 4,37 qcm Metallquerschnitt und 3,9 kg/m Gewicht. Erprobte Festigkeit 55,5 t (12,7 t/qcm), Dehnung vor dem Bruch 3,55 v. H., Sicherheitsgrad bei 7,2 t Belastung 7,7. Nach 50 854 km Fahrt ausgewechselt, ergab das Seil bei 70 Drahtbrüchen: Metallquerschnitt 4,259 qcm, Gewicht 3,89 kg/m, erprobte Festigkeit 50,75 t (11,85 t/qcm) und 1,53 v. H. Dehnung.

Die bis 1892 im Gebrauch befindlichen Wagen waren für 24 Sitz- und 6 Stehplätze in vier staffelförmig angeordneten Abteilen eingerichtet. Der Führer stand auf einer Bühne am untern Wagenende. Bei 45 v. H. lag der Boden wagrecht. Die hölzernen Wagenkasten hatten innen 2,02 m Breite und ruhten auf einem den Wasserkasten bildenden eisernen Untergestell. Der Radstand betrug 4,5 m. Der Wasserkasten faßte bei 1,33 m Breite und 2,64 m Länge 7 cbm; ein Wasserstandszeiger auf der Bühne gab die Menge des gefaßten Wassers an. Die Entleerung auf der unteren Station erfolgte selbsttätig. Die Wagen waren halboffen, oben nur mit Vorhängen verschlossen. Die durch Korkplatten bewirkte Federung des Kastens hat sich nicht bewährt. Jeder Wagen war mit zwei Spindelbremsen und einer selbstwirkenden Fallbremse ausgerüstet, nachdem die in der ersten Zeit des Betriebes verwendeten Luftbremsen wegen mancherlei Unzuträglichkeiten beseitigt worden waren[91]).

Obere Handbremse (Abb. 323). Seitwärts vom Bremszahnrad trägt die Wagenachse *W* ein Rad *R*, welches in ein Getriebe *R'* eingreift, das seinerseits auf der Welle *B* der Bremsscheibe angebracht ist. Die zwei bronzenen Bremsbacken *a a* können mittels Schraube *c* und Hebel mit Gestänge *b b* gegen die Rolle gepreßt werden. Das Hebelwerk ist derart angeordnet, daß die gerillten Bremsbacken unter gleichem Druck stehen.

Untere Handbremse (Abb. 324). Der vom Schaffner durch die Spindel *a* ausgeübte Druck überträgt sich folgendermaßen auf die zu beiden Seiten des Bremszahnrades sitzenden Scheiben: durch Hebel und Gestänge *b b b* auf Bremsbacke *Id* und weiter durch *Cd* auf Backe *IId*, dann durch Hebel *d*, Welle *f*, Stange *g* und Hebel *h* auf Backe *Ia*, durch *Ca* und Hebel *i* auf *IIa*. Durch gute Wahl der Hebelverhältnisse sind Druck und Abnutzung der Bremsklötze gleich. Um die zu ersetzenden Bronzemassen (die Abnutzung des Klotzes beträgt bei starkem Verkehr monatlich 10 mm) auf einen Kleinstwert zu bringen, sind in neuerer Zeit zweiteilige, aus Stahlguß mit Bronzefutter bestehende Bremsklötze gemacht worden.

Selbsttätige Bremse (Abb. 325). Das obere Ende des Seilhebels *k* stützt sich gegen die Federn *l l*. *k* sitzt lose auf der Welle *m*, auf welche der Gewichtshebel *n o* aufgekeilt ist. Außerdem trägt *m* zwei kleinere, mit *i* des Bremsklotzes *IIa* verbundene Hebel. Der Hebel *q* auf *r* stützt das Gewicht *o* und steht durch *s* und *t* mit den Federn *l l* in Verbindung. Im Falle des Seilbruches hört der Druck auf die Federn auf, diese drücken die Stütze *q* unter dem Gewicht *o* (durch Vermittlung von *t s*) weg und dadurch werden die Bremsklötze so angedrückt, daß auch auf Steigungen von 57 v. H. der Wagen angehalten wird. Die Nabe des Gewichtshebels trägt ein Sperrad *u* mit Klinke, welches ein Heben des Gewichtes verhindert. Eine eingeschaltete Kautschukfeder *x* übermittelt die Zugwirkung stoßfrei. Die neuen, seit 1893 in Betrieb befindlichen Wagen haben an Stelle der Fallbremsen Zentrifugalbremsen erhalten. Sie haben 40 Sitz- und 10 Stehplätze, somit Raum für 50 Per-

[91]) Vgl. Walloth, Seilbahnen der Schweiz, S. 34.



sonen. Es sind ein geschlossenes und drei offene Personenabteile, sowie ein offener Gepäckraum vorhanden. Das Leergewicht beträgt 9 t oder 180 kg auf den Fahrgast. Die Wagen haben Warmwasserheizung und Petroleumbeleuchtung.

Das Personal besteht aus zehn Angestellten und Beamten. Der Fahrpreis beträgt für die Bergfahrt 0,8 Mk., für die Talfahrt 0,6 Mk., für Hin- und Rückfahrt 1,2 Mk.

Baukosten. Dieselben betrugen rund 448000 Mk., also für 1 km etwa 711000 Mk. Davon entfallen 72000 Mk. auf den Umbau der unteren Strecke, aus welcher der große, oft zu Störungen Anlaß gebende Gefällswechsel entfernt wurde[92]).

Seit Eröffnung der Zahnradbahn auf den Rocher de Naye (1891) hat sich der Verkehr auf der Seilbahn bedeutend gehoben.

5. Stanserhornbahn. Die Stanserhornbahn[93]) ist eine mit der

Abb. 323. Obere Handbremse.

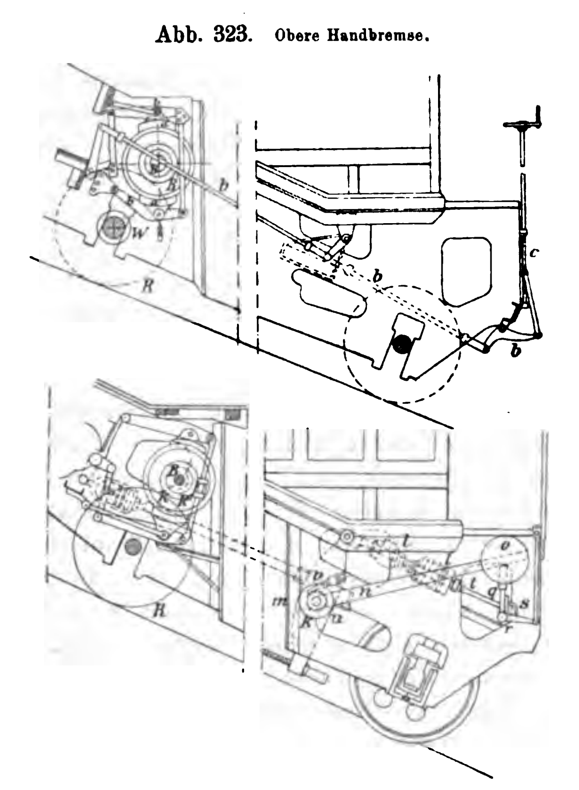


Abb. 325. Selbsttätige Bremse.

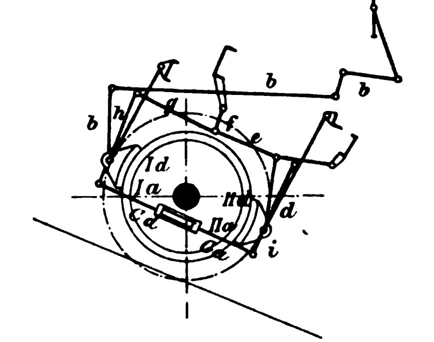


Abb. 324. Untere Handbremse.

Pilatuszahnradbahn in Wettbewerb stehende Linie und soll, dem billigeren Betriebe entsprechend, bei niedrigerem Preise einen ebenso lohnenden Aussichtspunkt leicht zugänglich machen. Sie wurde in den Jahren 1891 und 1892 von Bucher und Durrer erbaut, im November 1892 probiert und im Frühjahr 1893 dem Betriebe übergeben.

Gegenüber allen übrigen neueren Drahtseilbahnen mit größerer Steigung zeigt die Stanserhornbahn durch Wegfall der Zahnstange eine wesentliche Neuerung. Die Bahn führt am Nordhang des Berges empor, beginnt in Stans bei 450 m ü. M. und endigt im Stanserhorn-Gasthaus auf 1850 m ü. M. Der überwundene Höhenunterschied beträgt 1400 m. Die Bahn mißt in der Wagrechten 3597 m, in der Neigung dagegen 3915 m. Die Beschaffenheit des Geländes führte zur Teilung in drei Abschnitte, von denen jeder in der Mitte eine Ausweichstelle hat und für sich betrieben

92) Schweiz. Bauztg. 1891, Bd. XVII, S. 14.

93) Vgl. Ztschr. d. Ver. deutsch. Ing. Bd. XL, 1896, S. 10.

wird. Auf den beiden Zwischenstationen ist ein Umsteigen nicht zu vermeiden, was jedoch, da die Wagen nebeneinander halten, nicht sehr empfunden wird. Die Dreiteilung hat den Zweck, jedes Teilstück unter Berücksichtigung des theoretischen Längenschnittes dem Boden anzupassen und einen großen Verkehr leichter bewältigen zu können, überdies eine allzugroße Seillänge zu vermeiden. Nachstehende Tabelle gibt die Längen und Steigungsverhältnisse der drei Teilstrecken.

Stationen	Höhe üb. d. Meer	Höhenunterschied	Länge der Bahn				Steigungen	mittlere Steigung
			schief gemessen		wagrecht gemessen			
			zwischen den Stationen	vom Anfang	zwischen den Stationen	vom Anfang		
	m	m	m	m	m	m	v. H.	v. H.
Stans	450							
I.		264	1550	1550	1527	1527	10 bis 27	17,3
Kälti	714							
II.		507	1090	2640	960	2487	40 bis 60	52,1
Blumatt	1221							
III.		629	1275	3915	1110	3597	40 bis 60	56,7
Stanserhorn	1850							
	—	1400	3915	—	3597	—	—	39,0

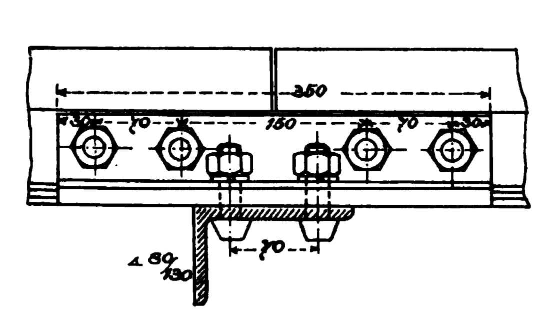
Unterbau. Alle Maurerarbeiten der Bahnlinie sind sehr sorgfältig aus dem Kalkgestein des Stanserhornes mit Zementmörtel hergestellt. Der Bahnkörper der ersten Strecke zeigt die gewöhnliche Kiesbettung, während er in der zweiten und dritten Strecke durchgehend aus Zementmauerwerk besteht. Der treppenförmig angeschnittene, gewachsene Boden nimmt das mindestens 0,5 m starke, 2 m breite Mauerwerk auf. In der Mitte des Gleises der zweiten und dritten Seilebene ist im gemauerten Bahnkörper eine Treppe aus Steinplatten zur Streckenbegehung verlegt. Die oberste Strecke hat einen 175 m langen Tunnel durch Kalksteingeröll.

Oberbau. Derselbe besteht aus 125 mm hohen Stahlschienen von rund 20 kg/m Gewicht, welche unter Zuhilfenahme von Klemmplättchen auf eiserne Querschwellen geschraubt sind. Um Kosten zu ersparen, wurde davon abgesehen, eine Zahnstange als Bremsmittel zu verwenden, und die billigere Zangenbremse, welche auf die Laufschienen wirkt, an ihrer Stelle gewählt. Um dem bei raschem Bremsen eintretenden Aufsteigen des Wagens entgegenzuarbeiten wurde das neue Keilkopfschienenprofil gewählt. Diese vom Hüttenwerk „Phönix" gelieferten Schienen haben einen Kopf von 50 mm Höhe und 42 mm Breite, 65 mm hohen und 12 mm dicken Steg, sowie einen 65 mm breiten Fuß. Diese besondere Schienenform ist eigentlich das einzige Neue an der Stanserhornbahn, denn Zangenbremsen hatten schon die Seilbahnen von Lyon-Croix-Rousse, San Paulo und andere. Alle drei Seilebenen haben in der Mitte eine selbsttätige Abt'sche Ausweiche.

I. Strecke. Die Kronenbreite beträgt 2 m mit einem 0,6 m breiten Graben im Einschnitt. Die Ausweiche ist 72,42 m lang und hat Halbmesser von 120 m. In der Nähe derselben ist eine Richtungsänderung mit 400 m Halbmesser. Die 9,2 m langen Schienen lagern auf zehn flußeisernen, in Schotter gebetteten Schwellen von ⌒ förmigem Querschnitt. Den Schienenstoß bilden zwei Winkellaschen mit vier Schraubenbolzen, zwei Unterlagsplatten mit je zwei Schrauben befestigen die über den Schienenfuß vorstehenden Laschen auf die Querschwellen. Auf den Zwischenschwellen sind Klemmplättchen verwendet. Der Oberbau wiegt infolge Fehlens der Zahnstange nur 63 kg/m.

II. Strecke. Sie ist schwach S-förmig mit Halbmessern von 250 und 400 m. Die Ausweiche hat Halbmesser von 150 m. Die Schwellen bestehen aus 1500 mm langen ⌈ Eisen von 130/80/10 mm, welche vollständig in den Bahnkörper eingelassen sind. Die unten gespaltenen Anker reichen 300 mm tief ins Mauerwerk. Schienenstoß, Ausweiche usw. sind wie bei der I. Ebene. Der Oberbau wiegt 67 kg/m. Abb. 326 und 327 veranschaulichen einen Schienenstoß, sowie die Angriffsweise der Zangen.

Die III. Strecke ist ähnlich der zweiten und weist verschiedene Richtungs-



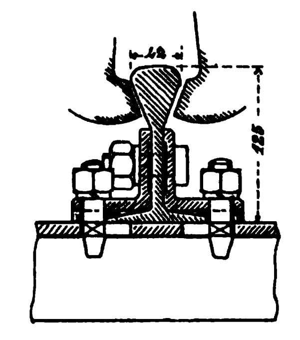


Abb. 326, 327. Schienenstoß.

änderungen auf. Bei allen drei Ausweichen beträgt die größte Gleisachsenentfernung 2,5 m.

Hochbau. Die Kraftstation ist mit derjenigen der Bürgenstockbahn im gleichen Gebäude untergebracht. In Stans ist ein einfaches Stationsgebäude und auf den Zwischenstationen die zugleich Umsteigehalle bildende Maschinenstation. Das Endgebäude bildet mit dem Stanserhorn-Gasthaus ein Ganzes.

Betrieb. Die Anwendung von Elektromotoren gestattete leichtere Wagen und bot überdies die Möglichkeit, Änderungen in den mechanischen Verhältnissen infolge des Anschlusses der Längenschnitte an den Boden auszugleichen, da die Faktoren des Produktes aus Kraft und Geschwindigkeit des elektrischen Motors in noch größerem Maße sich je nach den Gefällsverhältnissen ohne Arbeitsverluste ändern können, als dies z. B. der hydraulische Motor der Seilbahn Lausanne-Ouchy imstande ist.

Bei sehr starkem Betrieb, wenn auch die Bürgenstockbahn Sonderzüge einschaltet, wird die oberste Seilebene mit Dampf betrieben. Der Kraftbedarf ist zu Beginn der Fahrt am größten und nimmt während derselben ständig ab, so daß er unter Umständen gleich Null oder negativ werden kann.

Strecke	Wagen		Kraftbedarf in PS.	
	aufwärts	abwärts	zu Anfang der Fahrt	zu Ende der Fahrt
I	voll belastet	leer	+ 48	+ 12
II	leer	leer	+ 31	— 11
III	leer	voll belastet	+ 9	— 27

Wagen. Der in Abb. 328 dargestellte Wagen hat vier offene Abteile, vorn und hinten eine Bühne. Der Oberkasten ruht ohne abfedernde Zwischenlagen auf dem eisernen Untergestell. Wagengewicht 3800 kg.

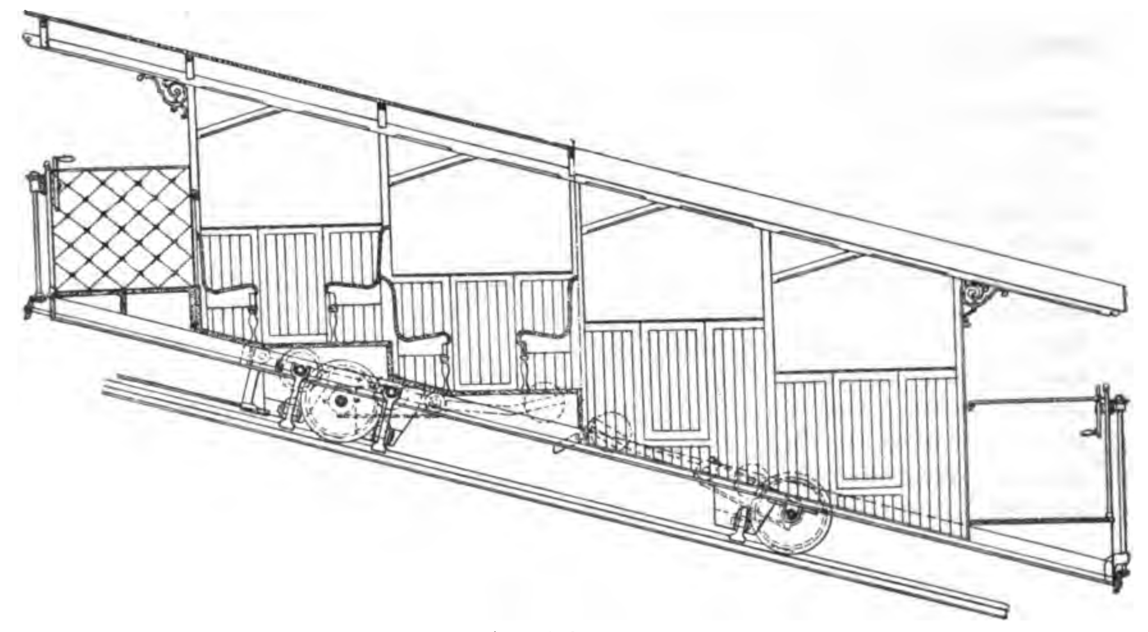


Abb. 328. Wagen.

Bremsen. Von den drei Zangenbremsen, welche der Ausweichstelle wegen nur die eine Schiene umfassen können, wird die oberste von Hand angezogen, während die beiden anderen bei Seilbruch selbsttätig auslösen oder vom Wagenführer mittels Druckschiene ausgelöst werden können. Dabei tritt immer zuerst die obere Bremse in Tätigkeit, damit einem Aufsteigen vorgebeugt wird. Die beiden Zangenarme sind nahe über den Schienen durch doppelte Laschen drehbar verbunden. Die den Drehpunkt bildenden Bolzen sind über die Laschen hinaus verlängert und ruhen in länglichrunden Bohrungen zweier kräftiger, die Laschen deckender Bleche, welche zwischen Winkelbleche genietet sind. Die Entfernung der beiden Zangen ist im Drehpunkt unveränderlich, dagegen können sich beide gemeinsam infolge der länglichen Bohrungen der Deckbleche quer zum Wagen um etwa 15 mm verschieben. In den gabelförmigen oberen Zangenenden lagern auf beiderseitigen Zapfen zwei Muttern mit Bremsspindel. Letztere hat Links- und Rechtsgewinde, wodurch die Zangen geschlossen oder geöffnet werden. Da die Zangenbacken sich bei der Bremsung von beiden Seiten an den Schienenkopf pressen, so darf dieser, damit die Bremsung an jedem Punkt der Bahn

ausgeführt werden kann, nirgends eine Unterbrechung erfahren. Die Zangen werden deshalb nur am äußeren, durchgehenden Strang angeordnet. Die Handbremse wird mittels Handrad, das mit der Bremsspindel durch Wellen- und Kegelradübersetzung in Verbindung steht, angezogen. Die beiden anderen Bremsen können mittels Stirnradübersetzung von den zugehörigen Laufrädern geschlossen werden, nachdem das auf der betreffenden Laufachse sitzende Stirnrad mit dieser gekuppelt ist. Die beiden Kuppelungen werden durch Gegengewichte eingerückt, sobald die Seilspannung aufhört. Die Bremsen werden durch Zurückdrehen der Spindeln mit einem am Ende aufgesteckten Schlüssel gelöst. Die Bremswirkung der Zangen ist direkt proportional dem Wagengewicht und der Reibungsziffer zwischen Laufrad und Schiene und Bremsbacken und Schiene.

Die in der stärksten Steigung von 62 v. H. zur Festbremsung des Wagens erforderliche Kraft beträgt rund 3700 kg.

Seil. Das Zugseil der ersten Seilebene hat 23 mm Durchmesser. Die zweite und dritte Seilbahn haben Seile von 34,2 bzw. 33 mm Durchmesser und 11,22 bzw. 10,5 facher Sicherheit. Auf allen drei Strecken liegt das zweite, von Felten & Guilleaume in Langschlag hergestellte Seil. Das Seilgewicht beträgt 1,79, 3,61 und 3,59 kg/m. Die abgelegten ersten Seile haben, einschließlich der Fahrten während des Baues, 31 079, 21 851 und 19 036 km zurückgelegt.

Tragrollen. Auf- und absteigendes Seiltrum ruhen in 340 mm Abstand nebeneinander auf Rollen von 300 mm Durchmesser, die in 12 bis 14 m Entfernung in Lagern ruhen. Abwärts gebogene Flacheisen von 60/10 mm, an den Enden durch Querschwellen verbunden, tragen die Rollenlager. In den Krümmungen kommen schief gestellte Rollen von 600 mm Durchmesser zur Verwendung. Beide Rollenarten sind aus Gußeisen, in den Rillen mit Buchenholz ausgefüttert, vollwandig und beiderseitig mit Verstärkungsrippen versehen. Die Umleitung des Seiles erfolgt über verschiedene hintereinander gelagerte Rollen (Abb. 329), deren Umwickelung nahezu 4π beträgt. Die drei Rollen liegen je etwa 500 mm höher und haben ebenfalls Buchenholzrillen.

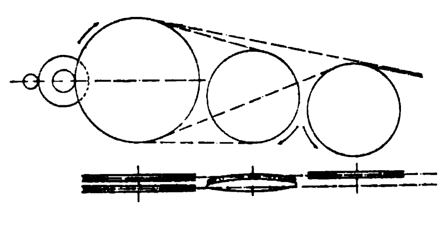


Abb. 329. Seilumleitung.

Antrieb. Obwohl die einzelnen Antriebstationen verschiedene Betriebskraft erfordern, sind doch alle gleich angelegt worden. Die Elektromotoren sind sechspolige Gleichstrommaschinen von 560 V. und 28 A., entsprechend einer Leistung von rund 60 PS. Sie arbeiten mittels Riemenübertragung auf eine Übertragungswelle und von dieser mittels Zahnradvorgelege auf die Seilscheiben. Der Durchmesser der Seilscheiben beträgt 4 m. Bei gewöhnlichem Betrieb soll die Seilgeschwindigkeit 2 m/sek. auf der I. Strecke und nur 1 m/sek. auf der II. und III. Strecke betragen.

Die Dampfmaschinen sind 50pferdige Zweizylindermaschinen. Sie arbeiten ebenfalls mittels Riemenübertragung. Die Bewegungsrichtung wird bei den Elektromotoren durch Wechsel der Stromrichtung, bei den Dampfmaschinen durch Umsteuern geändert. Zum Regeln der Fahrgeschwindigkeit dienen bei Elektromotorenbetrieb Widerstände. Liegen die Belastungsverhältnisse so, daß zur Bewegung der Wagen keine Motorenkraft erforderlich ist, so wird die Fahrgeschwindigkeit durch die auf

der Übertragungswelle angeordnete Handbremse geregelt und die Antriebsmaschine ganz ausgeschaltet. Die Handbremse ist eine Backenbremse mit gerillter Scheibe. Mittels Schraubenspindel werden die Hartholzbremsklötze betätigt. Ein Geschwindigkeitsmesser, sowie ein Lineal mit darauf verschiebbarem Zeiger lassen Geschwindigkeit und Wagenstand erkennen. Wenn sich der Wagen der Station auf 10 m genähert hat, so wird durch den Radspurkranz ein Stromschluß bewirkt und hierdurch im Maschinenraum eine Warnglocke in Bewegung gesetzt. Zur Betriebssicherung ist neben der Handbremse noch eine durch Gewichtshebel zu schließende selbsttätige Bremse angebracht. Eine Nase, die durch ein Gestänge mit dem Puffer am Gleisende in Verbindung steht, hält den Hebel während der Fahrt hoch. Sobald der Wagen anfährt, fällt das Gewicht und stellt die Übertragungswelle still. Ein Zentrifugalregulator löst bei Überschreitung der gewöhnlichen Fahrgeschwindigkeit die selbsttätige Bremse aus.

Kraftstation. Zwei im Maschinenhaus der Bürgenstockbahn aufgestellte Turbinen liefern die Betriebskraft von 65 bis 70 PS. Die Leitung ist oberirdisch und hat bis nach Stans rund 2500 m Länge, bis aufs Stanserhorn 6000 m.

Personal. Für die Stanserhornbahn sind, abgesehen von der Kraftstation, sechs Wagenführer, drei Maschinisten, ein Hilfsmaschinist und drei Streckenaufseher angestellt. Der kaufmännische Verwaltungsbeamte nebst Hilfskraft und Maschinenmeister leiteten früher gleichzeitig den Betrieb der elektrischen Straßenbahn Stansstad-Stans.

Die Baukosten betrugen:

	Im Ganzen	Für 1 km
Land und Enteignung	37 500 Mk.	10 400 Mk.
Streckenarbeit	623 000 „	173 500 „
Oberbau	160 000 „	44 400 „
Stationen und Hochbau	69 500 „	19 350 „
Telephon, Signaleinrichtung, Einzäunungen	13 600 „	3 750 „
Elektrische Leitungen, Motoren, Reservedampfanlage	168 000 „	46 600 „
Drahtseil und Zubehör	12 800 „	3 500 „
Sechs Wagen zu 9600 Mk.	57 600 „	16 000 „
Verwaltung usw.	4 000 „	1 120 „
Zinsen während des Baues	52 700 „	14 650 „
Zusammen	1 198 700 Mk.	333 270 Mk.

6. Rocca-Monreale. Eine eigenartige, dem Personenverkehr dienende Bahn ist diejenige von Rocca nach Monreale in der Nähe von Palermo (Sizilien)[94]. Die Linie schließt unmittelbar an das Straßenbahnnetz von Palermo an. Die wagrechte Länge beträgt 2045,4 m; der Höhenunterschied zwischen Anfangs- und Endpunkt beläuft sich auf 184 m. Die 230 m lange Anfangsstrecke, sowie die 795,4 m lange Endstrecke weisen Steigungen von 2 bis 8 v. H. auf, dagegen zeigt das Mittelstück, die Seilstrecke von 1079 m Länge, Steigungen bis zu 12 v. H., welche besonders bei schlechtem Wetter von Straßenbahnwagen nicht überwunden werden können. Auf jeden Fall sollte vermieden werden, daß die Fahrgäste in andere Wagen umsteigen müßten. Dies wurde durch Einstellen von zwei, mit allen Sicherheitsvorrichtungen für den

[94]) Giornale del Genio Civile, 1900, S. 541. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1901, S. 748.

Seilbahnbetrieb ausgerüsteten Bremswagen erreicht. Das Seil ist am oberen Ende um eine Umkehrrolle geschlungen. Die mit je einem Elektromotor ausgerüsteten Bremswagen werden an den Endstationen mit den Straßenbahnwagen verbunden, dann zieht der von oben kommende Zug den anderen in die Höhe. In Abb. 330 sind die Bewegungsvorgänge dargestellt, und dabei der hinauffahrende Motorwagen mit a, der herabfahrende mit B bezeichnet.

Abb. 330. Bewegungsvorgänge der Wagen.

Die Spurweite der Straßenbahnwagen beträgt 1000 mm, diejenige der Bremswagen, weil sie mit 960 mm Größtbreite zwischen den Straßenbahnschienen Platz finden müssen, nur 580 mm. Um die Anordnung kräftiger Zangenbremsen zu ermöglichen, wurde den Bremswagenschienen das in Abb. 331 bis 333 dargestellte Profil gegeben. Die Straßenbahnschienen bestehen aus gewöhnlichen Vignolesschienen. Die Gleise für die Straßenbahnwagen haben die Innenschiene gemeinsam; nur in der Ausweiche und am unteren Streckenende sind zwei getrennte Innenschienen ausgeführt. Alle Schienen sind auf eisernen Querschwellen, Bauart Hilf, verlegt.

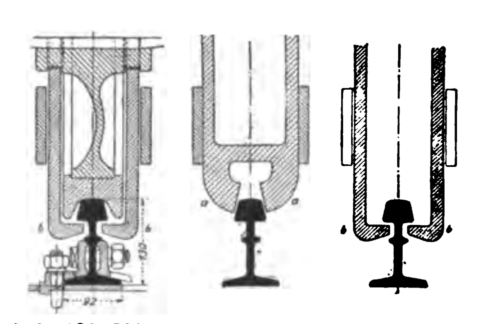


Abb. 331, 332, 333. Schienenprofil und Bremszange.

Am oberen Ende sind außer der großen Umkehrrolle von 2970 mm Durchmesser noch vier kleine Leitrollen von 1460 mm vorgesehen, von denen zwei um wagrechte Achsen, zwei in der Ebene der Hauptrolle um geneigte Achsen drehbar sind. Auf der Strecke wird das Seil von 196 Rollen, die für Gerade, Übergangsstrecke und Krümmung verschiedene Form haben, getragen.

Die Bremswagen sind aus Profileisen einfach aufgebaut. Die Welle des auf den oberen Längsträgern stehenden Motors trägt auf jeder Seite eine Schnecke, welche durch die zugehörigen Schraubenräder, sowie je ein Stirnräderpaar die Wagenachsen antreiben.

Bremsen sind in Form von Zangenbremsen an allen vier Laufrädern angebracht. Sie bestehen (Abb. 331 bis 333) aus zwei inneren, beim Bremsen nach abwärts gedrückten Stücken a und einem zweiteiligen, den Schienenkopf umgreifenden

äußeren hakenähnlichen Stücke *b*, das beim Bremsen nach oben gezogen wird. Kniehebel bewirken die entgegengesetzte Bewegung von *a* und *b*. Die Bremsen der Hinterräder werden durch ein Handrad, diejenigen der Vorderräder bei Seilbruch durch ein Gewicht in Tätigkeit gesetzt. Überdies ist noch eine elektrische Kurzschlußbremsung vorgesehen, bei welcher der Motor als Generator geschaltet, und der erzeugte Strom in den Anlaßwiderständen verzehrt wird. Der elektrische Strom von 550 bis 600 V. wird dem Kraftwerk von Palermo entnommen. Die Motorwagen haben 20 Sitz- und 20 Stehplätze und wiegen leer rund 8 t, die Bremswagen rund 7 t. Die höchste zugelassene Geschwindigkeit beträgt 10 km/Std.

Das Zugseil besteht aus 72 Flußstahldrähten und Hanfseele. Die Drähte haben 2 mm, das Seil 26 mm Durchmesser. Das Gewicht beträgt 2,6 kg/m.

Die Anlage ist nach den Plänen der Kontinentalen Gesellschaft für elektrische Unternehmungen in Nürnberg gebaut. Die elektrischen Teile stammen von der Elektrizitäts-A.-G. vormals Schuckert & Cie., die mechanischen Teile von der Maschinenfabrik Eßlingen.

Nachtrag.

Zu § 8. Für Holzriesen usw. verfertigen Felten & Guilleaume Litzenseile aus Keildrähten (▽). Sieben Drähte bilden eine geschlossene Litze; sechs bis neun um eine Hanfseele angeordnete Litzen bilden das Seil. Die Seile haben 20 bis 32 mm Durchmesser, 1,57 bis 3,77 kg/m Gewicht und 23000 bis 55000 kg/qcm Bruchfestigkeit.

Zu § 9. Seilbahnstütze von A. Bleichert & Cie. A.-G. (Pat. Nr. 148010, Kl. 20a).

Die Unterstützungen liegen auf derselben Seite, d. h. von der Bahnachse aus gesehen befindet sich das eine Wagengehänge außerhalb, das andere innerhalb der beiden Laufbahnen. Dadurch ist es möglich, bei Anwendung eines unterhalb der Laufbahn liegenden Zugseiles, Krümmungen ohne Lösen der Wagen vom Zugseil zu durchfahren. (Stahl und Eisen 1906, S. 646.)

Neue Laufseile tragen ein Blechschild mit Pfeil und der Inschrift „Transportrichtung", worauf beim Bau der Fahrbahn zu achten ist.

Zu § 12. Schwebende Seilbahnen beim Schiffbau. Für die Werft der Palmer's shipbuilding and iron Company, Ltd. in Jarrow, haben John M. Henderson & Cie. in Aberdeen eine besondere Art schwebender Seilbahn gebaut. Die Seilbahnen sind in der Achsenrichtung des zu bauenden Schiffes aufgestellt und werden an beiden Enden auf nach außen geneigten (62°) ⊓ förmigen Trägern verankert. Die Träger, welche mit ihren zwei Füßen pendelnd aufgestellt sind, wurden wegen Platzmangel schief gestellt. Ein Raum von 150/30 m wird von drei Seilbahnen, zu

19*

denen noch eine vierte eingebaut werden kann, bedient. Die größte Last für eine Bahn beträgt 3 t. Die Fahrbahn liegt 30 m über dem Boden. Zwischen den Trägerbeinen ist ein lichter Raum von 28,6 m. Die Geschwindigkeit der Katze beträgt 180 m/min., diejenige der Querbewegung der Seilaufhängpunkte 7,6 m/min.

Haldenbrücken (Bleichert's Patent Nr. 150197) werden mit einer der natürlichen Böschung entsprechenden Neigung aufgestellt und bestehen aus zwei seitlichen Gitterträgern mit gegenseitig verbundenen Ober- und Untergurten. Im Innern der Brücke ist eine endlose Seilbahn. Bei fortschreitendem Haldensturz wird die Brücke samt Seilbahn verlängert.

Zu § 16. Pohlig's Drahtseilbahn zur Verbindung der Gruben in Öttingen mit dem Hüttenwerke Differdingen ist die bedeutendste Drahtseilbahnanlage der Welt. Jährliche Leistung der 13 km langen Bahn 600000 t in jeder Richtung, was einer Gesamtleistung von 15 Mill. t/km entspricht. (Glaser's Ann. 1906, S. 39.)

Von der Unternehmung Adolf Bleichert & Cie. sind einige Gebirgsdrahtseilbahnen von bedeutender Länge gebaut worden, darunter eine von 11750 m Länge zum Transport von Holzkohle, Holz usw. für die Ashio Copper-Mine von Furukawa (Japan), sowie die 22000 m lange Bahn zum Eisenerztransport für die Kaiserlich-Japanischen Stahlwerke in Yawatamachi.

Die größte und schwierigste Bahnanlage ist wohl die von obengenanntem Hause für die argentinische Regierung gebaute. Die Anlage dient zum Transport von Erzen aus dem in den Cordilleren liegenden Minendistrikt Mexicana nach der Eisenbahnstation Chilecito der argentinischen Nordbahn. Die Bahn hat nahezu 35 km Länge. Die Beladestation liegt auf 4585 m Seehöhe, die Entladestation auf 1049 m, so daß ein Gesamtgefälle von 3536 m vorhanden ist. Sieben Zwischenstationen zerlegen die Bahn in acht Teilstrecken, deren jede ein besonderes Zugseil hat. Der Antrieb erfolgt durch sechs Zwillingsdampfmaschinen von je 35 PS. Die Seilstützen haben 2,5 bis 40 m Höhe und es sind 25 Spannweiten von 320 bis 850 m, bei Höhen bis zu 200 m über der Talsohle vorhanden. Da der Transport der Seilbahnbestandteile mit Maultieren zu geschehen hatte, mußten alle Stücke entsprechend konstruiert werden, um das als Maultierlast vorgesehene Größtgewicht nicht zu überschreiten. Der Bau wurde zur Erleichterung des Transportes von unten nach oben durchgeführt.

Die Bahn ist für eine Leistung von 40 t/Std. bemessen. Die Zugseilgeschwindigkeit beträgt 2,5 m. Die Wagen von 500 kg = 2,5 hl Inhalt folgen sich in 112,5 m Abstand und in Zeitabschnitten von 45 Sek.

Früher betrugen die Transportkosten 35 Mk./t, jetzt nur noch 1 Mk./t, so daß auch die minderwertigen Erze ausgebeutet werden können.

Zu § 20. Stufenbahnen (Gehbahnen). Die erste Ausführung war die 160 m lange Probestrecke der Brüder Wilhelm und Heinrich Rettig in Münster i. W. (1889). Die Bühnen wurden von einer feststehenden Dampfmaschine angetrieben. Die zweite Ausführung war die 270 m lange Bahn des M. E. Schmidt in Jackson Park zu Chicago (1891). Die durchgehende Antriebachse trug aufgekeilte Räder mit wachsendem Durchmesser, auf denen die mit biegsamen Schienen versehenen Bühnen rollten.

Die 1281 m lange Stufenbahn auf dem Casino Pier der Columbischen Ausstellung (1893) hatte nur zwei bewegliche Bühnen. Es waren zwei gerade Linien gebaut, von denen die eine für die Hin-, die andere für die Rückfahrt diente. An

beiden Enden waren scharfe Bogen. Beide Bühnen wurden von 350 vierräderigen Wagen von je 3,65 m Länge getragen. Die Spurweite betrug 1,15 m.

Auf der Berliner Gewerbeausstellung 1896 war eine 465 m lange Bahn unter Verwendung der Wagen aus Chicago aufgestellt. Bei stündlich 20 Rundfahrten wurden 29760 Personen befördert. Die Anlagekosten belaufen sich etwa auf 450000 Mk./km.

Zu § 25. Als Reservemaschinen kommen in Betracht: Sauggas-, Benzin- oder Dieselmotoren, deren Nutzeffekt von der Höhenlage abhängig ist.

Seilbahn Mentone. Eine eigenartige Seilbahn steht seit letztem Herbst in Mentone in Betrieb. Da vorläufig nur das obere Teilstück gebaut ist, wird nur mit einem Wagen, der mit einem Gegengewicht verbunden ist, gearbeitet. Das Gegengewicht läuft auf Schienen innerhalb der Wagenlaufschienen. Der Wagen faßt sechs Personen. Durch elektrische Kraft bewegt, kann die mit Endschaltern versehene Anlage von jedermann selbst bedient werden.

Seilbahn St. Moritz. Eine der vorigen ähnliche Anlage ist gegenwärtig im Bau und verbindet das Palace Hotel in St. Moritz (Schweiz) mit dem darunter liegenden Eisplatz. Die Bahn steht auf der Grenze zwischen Seilbahn und Aufzug. Ein 40 m langes Eisengerüst, annähernd nach dem theoretischen Längenschnitt gebaut, dient dem mit zwei Schildzapfen an einem vierräderigen Gestell hängenden Kasten (Kabine) als Laufbahn. Das Seil geht vom Wagen ohne Zwischenunterstützungen direkt auf die elektrisch angetriebene Windetrommel. Der Wagen faßt sechs Personen. Eine eigenartige, zum Patent gemeldete Einrichtung bewirkt, daß der Wagenkasten in jeder Stellung senkrecht steht und keine Schwankungen ausführen kann. Eine Seilbruchbremse ist vorgesehen, welche sich mit gezähnten Kreisabschnitten an Winkeleisen festklemmt. Der Wagen fährt ohne Schaffner und ist mit Endschaltern versehen. Die Bahn ist nur im Winter in Betrieb.

Literatur.

Abt, R. Die Seilbahn am Gießbach. Zürich 1880.

Abt, R. Die Seilbahn Lugano. Schweiz. Bauztg. 1887.

Abt, S. Umbau der Seilbahn Lauterbrunnen-Grütschalp. Schweiz. Bauztg. 1905.

Abt, S. Drahtseile und große Seilspannweiten. Schweiz. Bauztg. 1905.

Armknecht, O. Die Drahtseilbergbahn nach der Hohensyburg (Westfalen). Elektrotechn. Zeitschr. 1904.

Boudon, A. Transporteur aérien sur câbles de l'usine hydro-électrique de Vouvry. Génie Civil 1902.

Buhle, M. Gurtförderer, Hochbahnkrane und Drahtseilverladebahnen. Centralblatt der Bauverwaltung 1902.

Buhle, M. Technische Hilfsmittel zur Beförderung und Lagerung von Sammelkörpern (Massengütern). Berlin 1904.

Braun, E. Die Seilförderung. Freiberg i. S. 1898.

Bullivant & Co. Recent Ropeways, London 1902.

Carpi, A. Le chemin de fer funiculaire Lausanne-Ouchy. Schweiz. Bauztg. 1878.

Couche, M. Ch. Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer. Paris 1873.

Dieterich, G. Neuere Drahtseilbahnen für Zechenbetriebe. Glückauf 1904.

Dieterich, G. Elektrisch betriebene Schwebetransporte. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1904.

Dieterich, G. Elektrische Hängebahnen. Dingler's polytechn. Journal 1904.

Dieterich, G. Die Schaffung von Landungsstellen an sonst unzugänglichen Küsten mittels schwebender Transporteinrichtungen. Glaser's Annalen f. Gewerbe u. Bauw. 1905.

Diviš, J. Die Beanspruchung der Litzenseelendrähte. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen. Wien 1903.

Drahtseilstatistik 1904 (Schweiz. Drahtseilbahnen). Bern 1905.

Fasching, A. Besuch einiger Hüttenwerke im Saarreviere und im Minettegebiet. Berg- u. Hüttenmänn. Jahrbuch. Wien 1904.

Feldmann, A. Bergseilaufzug. Centralblatt der Bauverwaltung 1902.

Feldmann u. Strub. Chemin de fer du Mont-Blanc. Funiculaires Chamonix-Aiguille du Midi-Vallée Blanche. Berne 1905.

Frankenhauser, G. Fili di ferro a sbalzo e funi metalliche con freno per il trasporto di prodotti forestali ed agricoli nel Cantone Ticino. 3° Annuario (1899—1901) della Società degli Ingegneri ed Architetti nel Cantone Ticino. Locarno 1902.

Glaser, Ed. Note sur certaines causes spéciales de fatigue des câbles. Annales des Mines 1901.

Henderson. Aerial suspension-cableways. Minutes of proceedings of the institution of civil engineers 1903/04, part IV.

Handbuch d. Ing.-Wissenschaften, Bd. I, 2. Abt.

Hall, H. W. Zur Frage der zulässigen Maximalsteigung bei Seilbahnen. Schweiz. Bauztg. 1889.

Heusinger von Waldegg, E. Handbuch f. Spez. Eisenbahntechnik, Bd. V.

Hewitt, W. Cable Hoist-Conveyors. Trenton, New Jersey, U. S. A. 1904.

Hewitt, W. The application of wire rope to haulage, shafts and inclined planes. Trenton 1903.

Hewitt, W. Wire rope and its application to the transmission of power etc. Trenton, New Jersey, U. S. A. 1904.

Hildenbrand, W. The underground haulage of coal by wire ropes. Trenton 1893.

Hrabák, J. Die Drahtseile. Berlin 1902.

Inclined elevator at Weehawken, New-Jersey, U. S. A. Engineering Record 1904.

Johnston, O. The rapid handling of coal and ore. Mechanical Engineer 1900.

Jordan, K. Über Drahtseilbahnen. Elektr. Bahnen u. Betriebe. 1904.

Kollmann. Straßenbahnen und Kleinbahnen. Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ing. 1893.



Kotzschmar. Moderne Drahtseilbahnen und Verladevorrichtungen. Verhandlungen d. Vereins z. Beförderung des Gewerbefleißes. Berlin 1903.
Kreuter, Fr. Über Eisenbahnen im Gebirge. Zeitschr. d. Deutsch. u. Österr. Alpen-Vereins 1884.
Lévy-Lambert, A. Chemins de fer funiculaires. Paris 1894.
Meyer, G. Grundzüge des Eisenbahnmasch.-Baues, Bd. IV. Berlin 1892.
Milkowsky, K. v. Zur Drahtseiltheorie. Berg- u. Hüttenmänn. Jahrb. 1901.
Miller, Sp. Coaling warships at sea. New York 1904.
Müller, W. A. Die Loschwitzer Berg-Schwebebahn. Glaser's Ann. f. Gew. u. Bauw. 1906, Nr. 698, S. 21.
Pohlig, J. Über Drahtseilbahnen. Glaser's Annalen 1894.
Poole's electric cableway over the Zambesi River. Engineering 1904.
Rasch, H. Industrie- u. Gewerbe-Ausstellung in Düsseldorf. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1903.
Reichel, E. Seilstraßenbahnen in Amerika. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1893.
Reuleaux, F. Der Konstrukteur. Braunschweig 1882—89.
Riedler, A. Kalifornische Seilbahnen. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1893.
Rottenbacher u. Senft. Der Bergbau auf der Pariser Weltausstellung 1900. Berg- u. Hüttenmänn. Jahrb. 1901.
Rottenbacher u. Senft. Besuch einiger Zechen im Ruhrkohlenrevier. Berg- u. Hüttenmänn. Jahrb. 1901.
Schweiz. Bergbahnen. Industrielle u. Kommerz. Schweiz. Polygraph. Institut A.-G. Zürich, 1901.
Schleich, H. Die Drahtseilbahn des Rigiviertels in Zürich. Schweiz. Bauztg. 1901.
Statistik der schweiz. Drahtseilbahnen 1903.
Stein, A. Die verschiedenen Methoden der mechanischen Streckenförderungen. Gelsenkirchen 1898.
Strub, E. Straßenbahn in Lissabon. Schweiz. Bauztg. 1889.
Strub, E. Unsere Seilbahnen. Schweiz. Bauztg. 1892.
Strub, E. Seilbahn San Salvatore. Schweiz. Bauztg. 1892.
Strub, E. Seilbahn Lauterbrunnen-Mürren. Schweiz. Bauztg. 1892.
Strub, E. Die Drahtseilbahnen der Schweiz. Wiesbaden 1900.
Strub, E. Die Vesuvbahn. Schweiz. Bauztg. 1903.
Strub, E. Die Mendelbahn. Schweiz. Bauztg. 1903.
Thomann, E. Die Mendelbahn in Südtirol. Elektrische Bahnen und Betriebe, 1904.
Twaddell, J. L. Overhead wire cableway at the Jarrow Yard of Palmer's shipbuilding and iron Company, Ltd. Engineering 1906, Nr. 2102, S. 503.
Vautier, A. Etude des Chemins de fer funiculaires. Paris 1892.
Volk, C. Geräte und Maschinen zur bergmännischen Förderung. Leipzig 1901.
Walloth, K. Die Seilbahnen der Schweiz. Wiesbaden 1893.
Walloth, K. Die Eisenbahnbremsfrage und insbesondere ein Vorschlag zum Abbremsen auf Steilbahnen. Wiesbaden 1903.
Wetzel, O. Die Davos-Platz-Schatzalp-Bahn. Schweiz. Bauztg. 1901.
Ziffer, A. Die erste Bergschwebebahn der Welt. Mittlgn. d. Ver. f. d. Förderung d. Lokal- u. Straßenbahnwesens. Wien 1902.
Zimmermann, C. Die Schutzvorrichtungen an den geneigten Aufzügen. Gewerbl. techn. Ratgeber 1903.

Sachverzeichnis.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.

Dr

verhäl ind auf Ende 1901.

triebssystem		iebssystem:	
	schlos 2-achs	schlossen -achsig	
	0 Sitzpl 10 Stehpl	Sitzplätze Stehplätze	
	6000 H	5100	[11] Maximales Bruttogewicht 44 t.
.1	8800	8850	[12] Es bedeuten: H Handbremse; F, S automatische Seilbruch-Fall- resp. Spindel-Bremse; Zh, Za Hand- resp. automat. Zangenschienenbremse; Gh, Gf, Gs Geschwindigkeitsbremse auf H, F oder S wirkend; Mh, Mp Momentausrückung der automatischen Bremse mit Handhebel oder Pedal; Wo Index 2 beigefügt ist, wirkt die betreffende Bremse auf 2 Achsen.
	2,70	4,2	
B B	150	102	
-	—	—	
4	3	2	
H2 matische tenbremse	H, F	, Za2, Mp	
1100	—	200	[13] Widerstände an der obern Rollenstation resp. des obern Triebwerkes inbegriffen.
	3590014	346135	[14] Ende 1901.
	1999450	740316	[15] Auf schiefe Betriebslänge bezogen.
	151637	22268	
19801	109866	141931	
6362	71743	63-	
0,40; 0,40; . III. Kl. 0,20; 0,30	0,10; 0,1 0,20	80; 0,20 0,40	
	60	77	[16] Verhältnis d. Betriebsausgaben zu den Betriebsroheinnahmen.
	53	8	
sanne- uchy	Lausann Gare	usanne- Signal	

en Zahlen sin

lm Engelma

chen Eise

[illegible]	Lugano-Bahnhof
75	131 253
37	16 303
60	40
72	147 596
26	607 400
57	365
30	85 862
30	20 350
60	40 700
	—
60	40 700
28	235,24
00	2,00
95	407 074
75	96 476
95	407 074
08	4,72
00	321,45
70	36 009
17	2 213
24	280
11	38 502
50	162 453
28	1,88
31	0,37
03	1 127
27	1 951
33	9 313
16	1 728
70	2 939
49	17 061
00	72 000
66	0,80
61	44,31
62	21 441
10	90 464
65	1,05
39	55,69

